

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Mechanismus na čištění vík a rámců plnicích otvorů koksárenských baterií

Mechanism for Covers and Frames Cleaning of Coke Batteries Filling Hole

Student:

Marek Kašpařík

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Kašpařík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: Mechanismus na čištění vík a rámců plnicích otvorů koksárenských baterií
Mechanism for Covers and Frames Cleaning of Coke Batteries Filling Hole

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte stručnou rešerši dané problematiky. Navrhněte mechanismus na čištění vík a rámců plnicích otvorů koksárenských baterií. Zařízení musí umožnit provádění operací čištění bez změny polohy, respektovat funkci snímačů vík (mechanické nebo elektromechanické) a umožnit uklid zbytků po čištění. Proveďte potřebné technické, pevnostní a popřípadě také kinematické výpočty a rozbor. Bližší specifikaci technických a provozních parametrů určí zadavatel – Vítkovice, a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
LEINVERT, J. - ŘASA, J. - VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, Praha, 1999. ISBN 80-7183-164-6
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. *Jeřáby I. díl*. Praha: Druhé vydání SNTL Praha 1974. 637 st.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. 5. 2013

.....*Kaňva*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Kašpařík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hradisko 935; 763 26 Luhačovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KAŠPAŘÍK, M. Mechanismus na čištění vík a rámců plnicích otvorů koksárenských baterií: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, 57 s. Fakulta strojní. Vedoucí práce: Fries, J.

Tématem mé bakalářské práce je návrh mechanismu pro čištění vík a rámců plnicích otvorů koksárenských baterií. Při procesu přeměny uhlí v koks v koksárenské baterii vzniká dehet, který kondenzuje mezi víkem a rámem. Takto vzniklá směs způsobuje nežádoucí slepení víka s rámem, které je nutno oddělit a očistit. V úvodní části bakalářské práce jsem sepsal základní informace o koksárenství, historický vývoj koksárenství, důležité vlastnosti uhlí pro koksování a základní informace o koksu. V hlavní části bakalářské práce je postup pro konstrukční návrh mechanismu pro čištění vík a rámců. Zařízení musí umožnit provádění čištění bez změny polohy, úklid zbytků po čištění a počítat s možnou nepřesností usazení víka ve snímači vík.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KAŠPAŘÍK, M. Mechanism for Covers and Frames cleaning of Coke Batteries Filling Hole: bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, 2013, 57 s. Faculty of mechanical engineering. Supervisors: Fries, J.

The topic of my bachelor thesis is design of mechanism for cleaning of covers and frames for filling openings of coke batteries. In the process of converting coal into coke a tar is emitted in the coke battery, which condenses between the cover and the frame. The resulting mixture causes adverse bonding the lid to the frame, which must be separated and purified. I wrote basic information about coke, coke historical development, important features for coking coal and coke basic information in the introductory part of bachelor thesis. The main part of the thesis describes the procedure for design of the mechanism for cleaning the lids and frames. The equipment must enable the implementation without changing the position of cleaning, cleaning residues after cleaning and allow for possible placement inaccuracies of cover for the sensor lids.

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Význam koksárenství.....	11
3.	Historický vývoj koksárenství	13
4.	Systém uspořádání koksovny.....	14
5.	Základní informace o koksu a uhlí	18
5.1	Koksovací vlastnosti uhlí	18
5.2	Základní informace o koksu	19
5.3	Těkavé produkty koksování	21
6.	Konstrukční řešení	23
6.1	Úvod do problematiky	23
6.2	Úvaha nad možnou konstrukcí	25
6.3	Pracovní cyklus čistícího zařízení	31
7.	Výpočet parametrů převodu.....	34
7.1	Volba a výpočet základních parametrů	34
7.2	Výpočet jednostupňové převodovky soukolí 1,2	35
7.2.1	Výpočet geometrických rozměrů ozubeného soukolí v převodovce	36
7.2.2	Pevnostní výpočet	39
7.2.3	Návrh průměru hřídele z pevnostní podmínky v krutu.....	41
7.2.4	Návrh pera na hřídeli	42
7.3	Výpočet ozubeného soukolí 3,4	43

7.3.1	Návrh modulu ozubení.....	44
7.3.2	Návrh korekcí na vyrovnání měrných skluzů	44
7.3.3	Pevnostní zjednodušená kontrola.....	45
7.3.4	Zjištění geometrických a záběrových parametrů	46
7.3.5	Návrh průměru hřídele z pevnostní podmínky v krutu.....	48
7.3.6	Návrh pera na hřídeli	48
7.4	Výpočet ozubeného soukolí 4,5	49
7.4.1	Návrh korekcí na vyrovnání měrných skluzů	50
7.4.2	Pevnostní zjednodušená kontrola.....	50
7.4.6	Zjištění geometrických a záběrových parametrů	51
8.	Pevnostní analýza	53
9.	Závěr	55
10.	Literatura a software	56
11.	Přílohy.....	57

Seznam použitých značek

Značka	Jednotka	Význam
D	[mm]	roztečná kružnice
D _a	[mm]	průměr hlavové kružnice
D _b	[mm]	průměr základní kružnice
D _f	[mm]	průměr patní kružnice
F _t	[N]	obvodová síla působící v čelním řezu na roztečné kružnici
F _{tl}	[N]	obvodová síla působící v čelním řezu na roztečné kružnici odpovídající 1. stupni zatížení
J _{VH}	[MPa]	tvrdost v jádře zubu
K _A	[-]	součinitel vnějších dynamických sil
K _{AS}	[-]	součinitel vnějších dynamických sil pro výpočet s ohledem na trvalou deformaci
K _F	[-]	součinitel přidavných zatížení
K _H	[-]	součinitel přidavných zatížení
K _{HV}	[-]	součinitel vnitřních dynamických sil
K _{Hα}	[-]	součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů
K _{Hβ}	[-]	součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubu po šířce
M _k	[N·m]	kroutící moment
S _{Hmin}	[-]	nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubu
S _{Fmin}	[-]	nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového lomu v patě zubu
V _{HV}	[MPa]	tvrdost na boku zubu
Y _{FS}	[-]	součinitel tvaru zubu a koncentrace napětí
Y _ε	[-]	součinitel vlivu záběru profilu
Z _E	[-]	součinitel mechanických vlastností materiálu spoluzabírajících ozubených kol
Z _H	[-]	součinitel tvaru spoluzabírajících zubů
Z _R	[-]	součinitel opracování zubu
Z _ε	[-]	součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů
a	[-]	osová vzdálenost
b	[mm]	šířka ozubení

b_{12}	[mm]	šířka ozubení
c_a	[mm]	hlavová vůle zubů
d	[mm]	průměr
h	[mm]	výška zubu
h_a	[mm]	výška hlavy zubu
h_f	[mm]	výška paty zubu
m_n	[mm]	normální modul
n	[ot./min]	otáčky soukolí
p_b	[mm]	rozteč na kružnici základní
p_{Dov}	[MPa]	dovolený tlak u oceli
t	[mm]	rozteč
u	[-]	převodový poměr
x	[mm]	korekce
z	[-]	počet zubů
α	[°]	úhel
ε_α	[-]	součinitel záběru zubu
Ψ_m	[-]	poměrná šířka
μ	[-]	účinnost
σ_{Flimb}^0	[MPa]	mez únavy v ohybu
σ_{Hlimb}^0	[MPa]	mez únavy v dotyku
σ_H	[MPa]	napětí v dotyku ve valivém bodě
σ_{H0}	[MPa]	napětí v dotyku ve valivém bodě
σ_{HP}	[MPa]	přípustné napětí v dotyku
σ_F	[MPa]	ohybové napětí v nebezpečném průřezu paty zubu
σ_{FP}	[MPa]	přípustné napětí v ohybu
τ	[MPa]	smykové napětí

1. ÚVOD

Koksárenství bylo a stále je důležitým odvětvím našeho výrobního průmyslu. Je zde těsné pouto s železárenstvím, kterému je dodáván koks pro výrobu železa a koksárenský plyn pro otop koksovacích pecí. Koks a koksárenský plyn je produktem koksovacího procesu, tedy jedná se o tepelný proces přeměny uhlí v tyto produkty. Z koksárenského plynu lze získat mnoho cenných chemických zplodin, jedná se především o dehet, benzol, naftalen a čpavek.

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout mechanismus, jehož funkcí bude očištění víka a rámu koksárenské baterie od dehtu, který jej slepuje.

V úvodní části bakalářské práce bude uvedena krátká rešerše obsahující základní informace o významu koksárenství, historickému vývoji koksoven, produktech při výrobě a chemickém složení koksu.

Hlavní část této práce bude pojednávat o konstrukčním řešení čistícího mechanismu. Především výpočtu ozubených kol a jejich pevnostní kontrole, návrhu per a hřídelí, vysvětlení kroků při procesu čištění a pevnostní analýzu metodou MKP.

2. VÝZNAM KOKSÁRENSTVÍ

Účelem koksárenství je tvorba kvalitního koksu pro vysoké pece. Během procesu, který spočívá v zahřívání uhlí, popřípadě směsi různých uhlí bez přístupu vzduchu v uzavřeném prostoru při teplotě nad 1000°C . Při tomto procesu probíhá složitý tepelný rozklad uhelné hmoty, jehož výsledkem je koks a surový koksárenský plyn. Z koksárenského plynu lze získat mnoho cenných chemických zplodin. Jedná se především o dehet, benzol, naftalen a čpavek.

Pokud se při výrobě koksu použije černé uhlí, karbonizace probíhá v karbonizačních plynárnách nebo v koksovnách.

Rozdíl mezi plynárnami a koksovnami je v kvalitě koksu a kapacitě závodu. Plynárny vyrábějí většinou drobný a méně hutný koks, který je především určený pro otop nebo generátory. Koksovny vyrábějí koks pevný, především určený pro slévárny a vysoké pece.

Koksovny upravují surový koksárenský plyn na čistý technický plyn, který je dále používán v hutním průmyslu.

Podle použitého druhu suchého uhlí je výtěžek koksu zhruba 70 – 84%, jedná se tedy o váhově nejdůležitějším produkt. Z takto vyrobeného koksu se pro vysoké pece používají zrna, která jsou větší než 40mm. Podíl takto velkých zrn je až 90% výroby koksu.

Při výrobě v koksovnách vzniká značné množství surového benzolu a dehtu. Tyto produkty jsou důležitou surovinou pro dehtárenský průmysl. Vyrábí se z nich výrobky jako benzen, benzol, toluen, xylen, naftalen, fenol a různé druhy olejů.

Koksovny vyrábějí při zpracování čpavku značné množství síranu amonného, který je důležitým zemědělským hnojivem. Výrobou síry, jež vzniká vypíráním sirovodíku z koksárenského plynu a úpravou na kyselinu sírovou, popřípadě na elementární síru, která je důležitou surovinou pro chemický průmysl. Žádaná čistota odpadních vod vypouštěných do veřejných toků se udržuje pomocí fenolů ze čpavkových vod.

Při zpracování koksárenského plynu v dusíkárnách, především kresolů a fenolů získaných z koksárenského dehtu a z formaledehydu, který se získává chemickým zpracováním plynu, vyrábějí se umělé pryskyřice a z nich za přídavku plnidel umělé plastické

hmoty. Chemickým zpracováním koksárenského plynu se vyrábí technický vodík a methanový plyn.

Vypíráním kyanovodíku, obsaženém v koksárenském plynu, se vyrábějí kyanové sloučeniny, zejména žlutá krevní sůl a z ní různé druhy berlínské modře. Z vysokopecního plynu vyrábí se spalováním kyselina uhličitá a z ní nasycené čpavkem uhličitán amonný. Z fenolu, hydroxidu sodného a kyseliny uhličitě se vyrábí kyselina salicylová a její soli, které se zpracují na mnoho důležitých léků. [1]

V naší republice jsou poměrně velké zásoby uhlí, které je vhodné pro přetvorbu na koks. Jedná se o vyčerpatelné zásoby, proto musíme dbát na účelném použití.

3. HISTORICKÝ VÝVOJ KOKSÁRENSTVÍ

Historie koksárenství je těsně spjata s výrobou železa. Vysoké pece při výrobě železa vyžadovaly stále větší množství paliva. Zásoby dřeva z dosažitelných lesů nestačily a používané dřevěné uhlí razantně zdražilo. Tyto problémy vyústily v nutnost vyhledání nového paliva.

Kolem roku 1621 v Anglii se vyskytují první zmínky o výrobě a použití koksu. Výroba koksu spočívala tak jako výroba dřevěného uhlí v otevřených milířích. Černé uhlí bylo přikryto hlínou a ze spodu zapáleno. Výtěžek koksu byl malý a jakost špatná z důvodu, že část uhlí místo proměny v koks shořela.

Počátkem 19. století se v Anglii začali používat pece úlové. Tyto pece byly ohnivzdorně vyzděné a významným vylepšením zde byla klenba. Žár z klenby působil stejnoměrně na vrstvu uhlí, tím pádem výsledný koks byl výborné jakosti. Jednalo se pouze o 60% výtěžek koksu.

V polovině 19. století byly zaváděny pece plamenné pece typu Appoltova, Semet-coppée-ova, kde se koksování provádělo v samostatné komoře. Novinkou zde bylo využití spalování plynů zevně a tím spalovací proces neprobíhal jenom ve vlastním koksovacím prostoru. Touto úpravou se zvětšil výtěžek koksu.

Další vývoj byl ve snaze zužitkovat vedlejší produkty při výrobě. Roku 1881 využil Gustav Hoffman k předehrívání vzduchu potřebného ke spalování, dvou Siemensových regenerátorů. Ve spolupráci s Dr. Ottou vytvořili nový typ pece Otto-Hoffman. Tyto pece dávaly výtěžek koksu 72 % při 7,5 tuny uhlí a razantně zkracovaly dobu koksovacího procesu.

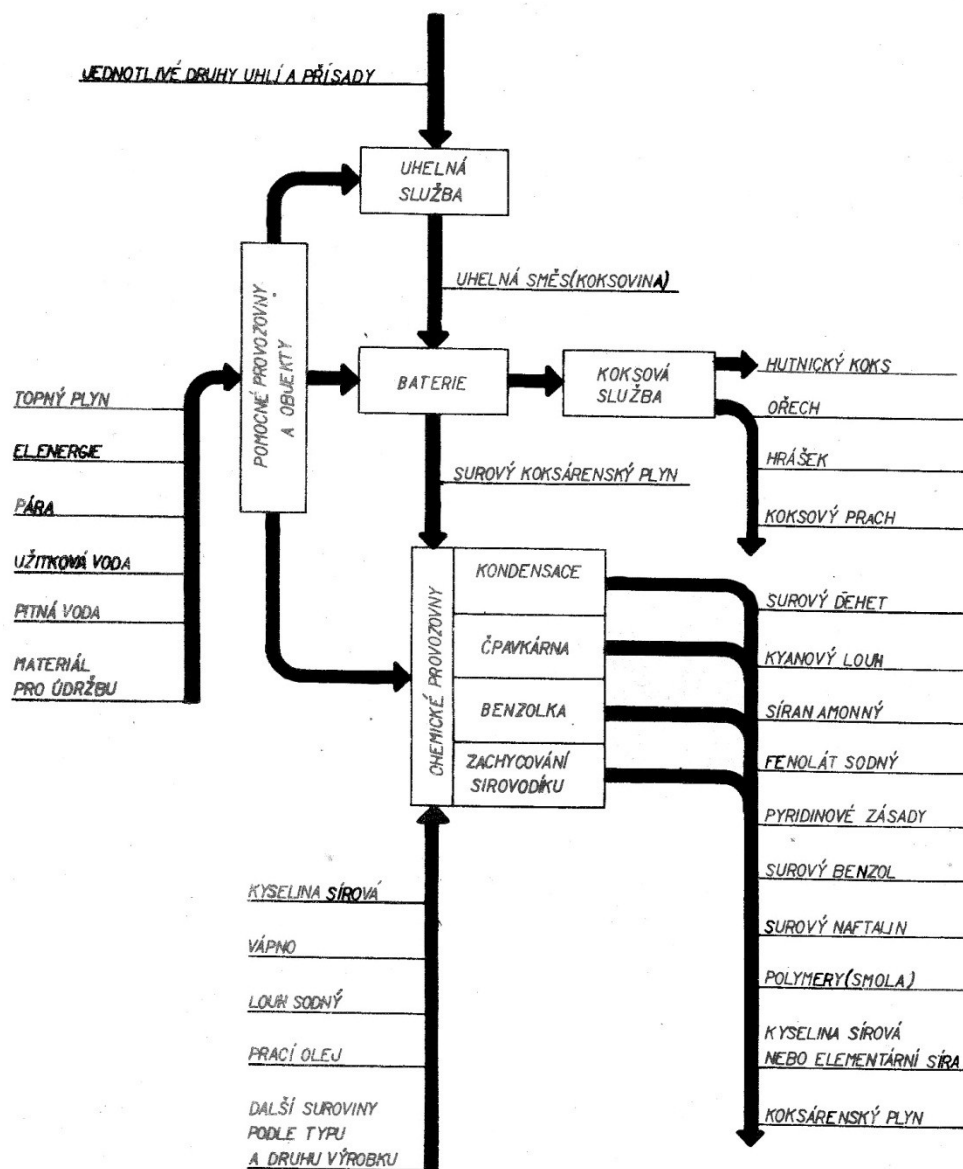
Pokračování ve vývoji bylo zaměřeno na stejnosměrné otápění stěn koksových komor. Používání regenerátorů úplně vytlačilo jiné způsoby využití odpadního tepla spalin.

Roku 1904 vymyslel Dr. Koppers pec se samostatným regenerátorem pro každou komoru a roku 1910 byl vytvořen typ sdružené koksovací pece pro otop koksárenským nebo vysokopecním plynem. Tímto způsobem bylo možné uvolnění nejen poloviny, ale celé množství vyrobeného koksárenského plynu pro průmysl.

Po první světové válce bylo zrušeno mnoho menších koksoven a nahrazeno většími centrálními koksovnami. Takto proběhlo zvýšení výkonu a snížení koksovací doby.

4. SYSTÉM USPOŘÁDÁNÍ KOKSOVNY

Základní rozdělení koksovny dle technologických procesů je na koksárenskou baterii, uhlernou službu, koksovou službu, chemické provozovny a pomocné provozovny a objekty. Rozdělení koksovny včetně základního technologického schématu je zobrazené na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Technologické schéma koksovny [1]

Dále si uvedeme pouze schématické uspořádání koksovny se sypaným provozem obr. 4.2, pro kterou řeším bakalářskou práci. Pouze se zmíním o tom, že jsou i koksovny s pýchovaným provozem.

K zpracovávání uhlí dochází v uhelné službě, kde se případně přidávají přísady, nebo připravuje uhelná směs. Uhlí přichází na koksovnu z dolů o různých vlastnostech. Uhelná směs se připravuje z několika druhů uhlí a určitých přísad. Připravená uhelná směs je dopravována dále pomocí pásového dopravníku nebo železniční přepravy. Dopravené uhlí je vyloženo na vykládacím místě 1. Následně jednotlivé druhy, dle zvolené technologie přípravy dopravují buď na povrchovou skládku 2, nebo rovnou do mlýnice uhlí 3. Uhlí, které bylo rozemleto, pokračuje do zásobníků 4. Ze zásobníků je uhlí v konečné směsi dopravováno do míchací stanice 5. Po promíchání a případném dovlhčení je uhelná směs dopravena do uhelné věže.

Připravená uhelná směs se v koksárenské baterii 7 zpracovává. Z uhelné věže umístěné v podélné ose koksárenské baterie. Odváží vodící vůz uhelnou směs ke komorám, kde ji sype plnicími otvory ve stropě baterie.

Po vychladnutí koksu je nutná jeho doprava z koksové rampy do hrubé třídírny koksu 11. Po vytřídění koksu se dopravuje k vysokým pecím nebo k spotřebitelům. Do jemné třídírny se dopravuje podsítný koks pro další třídění. Takto vytříděný jemný koks se doručuje železničními vozy spotřebitelům.

Koksárenský plyn vznikající při karbonizaci, který uniká z koksárenských pecí, je zpracováván v chemických provozovnách. Při přechodu je v předloze na baterii chlazen čpavkovou vodou. Odsáváním v turbobně 12 se plyn přepravuje do primárních chladičů 13, kde probíhá chlazení. U této operace se separuje z plynu dehet a kondenzuje vodní pára, s kterou odeberá částečné množství čpavku. Pozůstatek dehtu ve formě mlhy je zachycován v elektrofiltrech 14. Voda se čpavkem a dehtem je odváděna z předloh do odlučovačů hrubých nečistot 15. V odlučovačích dochází k částečnému oddělení vody a dehtu. Kondenzáty z chladičů, turbodosačů a elektrických odlučovačů jsou rozdělovány na základě různých specifických vlastností. Na dehet a čpavkovou vodu v rozdělovacích nádržích 16. Zachycený dehet se shromažďuje v dehtojemech a je odesílán dál jako produkt. Ze čpavkojemů 17 je čpavková voda čerpána do čpavkárny pro další zpracování. [1]

Plyn je předehříván a veden k sytiči 18. Na lázeň s kyselinou sírovou v sytiči se váže čpavek obsažený v plynu. V odháněcích kolonách 19 dochází ke kontaktu čpavku se síranem amoným. Čpavková voda ze čpavkojem je přiváděna do fenolky 20, kde je z ní odstraněn fenol. Jako produkt odchází fenolát sodný. Čpavková voda po oddělení fenolu přichází do

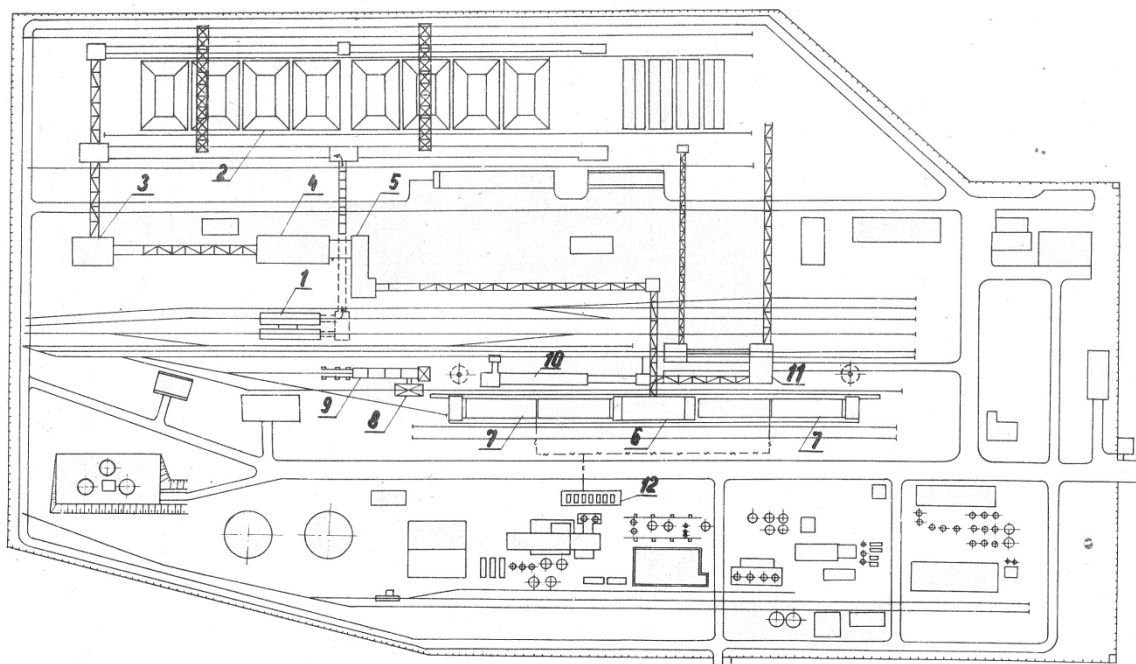
odháněče, kde se z ní parou za přídavku vápenného mléka uvolňuje čpavek, přidávaný do plynu před sytičem.

Ze čpavkárny je veden plyn do benzolky 22. Plyn je za sytiči ochlazován na koncovém chladiči 23 se stykem s vodou, která současně sráží z plynu naftalin. Naftalin je ve spodní části chladiče absorbován z vody pracím olejem. Proudící plyn za chladiči do benzolových praček, kde je absorbován benzol pracím olejem. V benzolce se zpracovává nasycený olej z praček.

Dále jsou na schématickém uspořádání zobrazeny údržbářské dílny 24, sklady náhradních dílů 25, sklady chemikálií 26 a olejů 27, laboratoře 28, trafostanice 29, správní budova 30, šatny a umývárny 31, budova stráže a protipožární ochrany 32, ošetřovna 33 a další. [1]

Uhelná služba pracuje na 2 směny, třetí směna je rezervní, slouží pro kontrolu, čištění a běžné opravy zařízení. Uhlenná věž je zásobník uhelné směsi asi na 24 hodin. Svým strategickým umístěním mezi uhelnou službou a koksárenskou bateriemi je zabezpečen bezporuchový provoz koksárenské baterie.

Stroje a zařízení koksárenských baterií pracují nepřetržitě 24 hodin. Musí provést během krátké pracovní doby rozmanité pracovní úkony různé časové délky. Je zapotřebí přísné součinnosti obsluhovacích strojů. Případná porucha na jednom stroji způsobí zastavení ostatních strojů, tím se naruší chod pravidelný chod baterie, což je vždy spojeno se ztrátou na výkonu baterie. To provází zhoršení jakosti koksu a plynu. Případně i poškození zdíva koksovacích pecí.



Obr. 4.2 Schématické uspořádání koksovny [1]

5. ZÁKLADNÍ INFORMACE O KOKSU A UHLÍ

5.1 Koksovací vlastnosti uhlí

Vlastnosti uhlí, které mají vliv na vlastnosti koksu při karbonizačním koksotvorném pochodu. Nejdůležitějšími koksovacími vlastnostmi uhlí jsou puchnutí, rozpínavost spékavost, plasticita, a smršťování.

- **Puchnutí:**

Jedná se o vlastnost uhlí, která způsobuje zvětšování objemu při karbonizaci. Při teplotě nad 400°C uhlí měkne a stává se plastické. Vzniklé plyny uvnitř uhelné hmoty nabývají na objemu a nastávající koks se stává pórovitým.

- **Rozpínavost:**

Uhlí má schopnost působit při puchnutí v omezeném prostoru tlakem na jeho stěny. Důvod tohoto rozpínání není zatím zřejmý. Rozpínavost uhlí se ve značné míře vyrovnává smršťováním koksu v době, kdy se polokoks mění v koks.

- **Spékavost**

Jedná se o výslednici mnoha různých a složitých fyzikálních a chemických pochodů probíhajících do teploty asi 500 °C při koksování, tedy jedná se o hranice tvorby polokoksu. Uhlí je schopné spékat se v pevný koks při procesu koksování. Tato schopnost se nazývá spékavost uhlí. Během teploty, kdy dochází k plastickému stavu uhlí, jeho hmota měkne a přibírá jiné netající uhelné složky. Při navýšení teploty dojde k stmelení a vytvoří se nový celek polokoks, po další zvyšování teploty se přetváří v koks. [1]

- **Plasticita**

Probíhá pouze během určité teploty obvykle 300 až 400°C. Od určité teploty začíná uhlí měknout, tato teplota se označuje jako počátek plasticity. Konečná teplota plastické přeměny uhlí se označuje jako konec plasticity. Oblast plasticity je označována oblast mezi počátkem a koncem plasticity. Plasticita souvisí se spékavostí tak, že umožňuje stmelení ostatních složek.

- **Smršťování**

Během procesu koksování u teploty 500°C, začíná smršťování koksu. Tento proces začíná pnutím tuhé koksové hmoty, v rovnoběžném směru postupu tepla. Díky smrštění se koks rozpadá drobnější podlouhlé kusy koksu. Smrštění ovlivňuje kusovitost koksu. U větší teploty se kusovitost zmenšuje. Smrštění se projevuje odstupem koksu od stěn komory.

5.2 Základní informace o koksu

Vyrábějí se druhy koksu jsou metalurgický (slévárenský a vysokopecní), hutní a koks drobný. Slévárenský koks má zrno nad 60, případně nad 90 mm, vysokopecní koks má zrnitost zpravidla nad 40 mm. Koks podle zrnitosti se dělí na kusy – nad 80 mm, kostky – 60 až 80mm, ořech 1 – 40 až 60 mm, ořech 2 – 20 až 40mm, hrášek – 10 až 20 mm a prach – 0 až 10 mm. [1]

Po procesu koksování je žhavý koks vytlačen obr. 5.1 a je nutné provést okamžité hašení koksu. Rozlišujeme hašení suché - použití inertního plynu a hašení mokré – použití vody. Při mokré hašení se vytlačený koks přemístí na voze pod hasící věž, kde probíhá hašení vodou.



Obr. 5.1 Vytlačení koksu z koksovny

Hašení má velký vliv na pevnost a odolnost vůči otěru koksu. Pokud je hašení rychlé, navlhle vnější vrstvy koksu jsou vysušeny horkými vnitřními vrstvami. Naopak u dlouhého hašení dochází k nadměrné vlhkosti, která snižuje výhřevnost koksu jako palivo.

Druhy koksu:

Dle upotřebení se dělí koks na metalurgický (slévárenský a vysokopecní), koks pro různé účely a koks speciální.

Ve vysoké peci se používá vysokopecní koks, který neslouží pouze jako palivo, ale i jako redukční prostředek (schopnost redukovat CO_2 na CO). Velikost kusů má být stejnoměrná, aby odpor při průchodu plynů vysokou pecí byl nejmenší. Určité nároky na chemické složení jsou kladeny při provozu vysokých pecí. Látky, které snižují obsah hořlaviny v koksu jsou popelovina a voda. U výroby železa je nežádoucí velké množství síry, protože částečně přechází i do železa.

Od slévárenského koksu se očekává při spalování v kupolní peci vznik co nejvíce možného tepla, za vzniku co největšího množství CO_2 a nízký obsah síry, vody, popela a nízkou reaktivnost.

Speciální koksy považujeme zpravidla za velmi čisté. Jedná se o nízkopopelový koks a smolný koks. Uplatnění najdeme při výrobě elektrod.

Vlastnosti koksu:

- Chemické vlastnosti koksu.
 - Popeloviny v koksu
 - Síra v koksu
 - Fosfor v koksu.
 - Hořlavina v koksu.
 - Spalné teplo a výhřevnost koksu
- Fyzikálně chemické vlastnosti koksu
 - Reaktivnost koksu
 - Skutečná měrná váha koksu
 - Zdánlivá měrná váha koksu
 - Pórovitost koksu

-
- Fyzikálně mechanické vlastnosti koksu.
 - Kusovitost a stejnoměrnost třídění
 - Sypná váha koksu
 - Mechanická pevnost koksu
 - Pevnost koksu pádem
 - Pevnost koksu v otěru
 - Pevnost koksu v tlaku

5.3 Těkavé produkty koksování

Složení a množství těkavých produktů při koksování ovlivňuje:

- použitá surovina
- teplota a tlak při karbonizaci
- zařízení a provozní podmínky karbonizace
- ostatní podmínky koksování

Charakter těkavých produktů se tvoří v koksovacích komorách; odcházející surovina, surový koksárenský plyn se čistí v chemických výrobnách při získávání řady výrobků.[1]

Vlivy na produkty koksování:

- vliv teploty
- vliv uhlí
- vliv koksovací doby

Těkavé produkty koksování:

Koksárenský plyn je nejdůležitějším těkavým produktem. Obsahuje řadu sloučenin. Z plynné fáze se separuje čpavek, kyanovodík a sirovodík. Hlavním produktem koksárenského plynu je vodík, dále v menší míře metan a jeho homology. Dále je jeho produktem surový dehet, naftalen, pyrogenetické vody a nejcennějším výrobkem je surový benzol.

Zobrazení průměrných výtěžků chemických produktů u koksu tab. 1 a u koksárenského plynu tab. 2.

Tab. 1 Výtěžek produktů při koksování [1]

Produkt	Procentuální množství [%]
koks	72 – 82
koksárenský plyn	15 – 18
dehet	1,6 – 4,4
pyrogenetické vody	2 – 4
surový benzol	0,6 – 1,2
čpavek	0,24 – 0,30
sirovodík	0,15 – 0,25
surový naftalen	0,05 – 0,08
kyanovodík	0,01 – 0,04

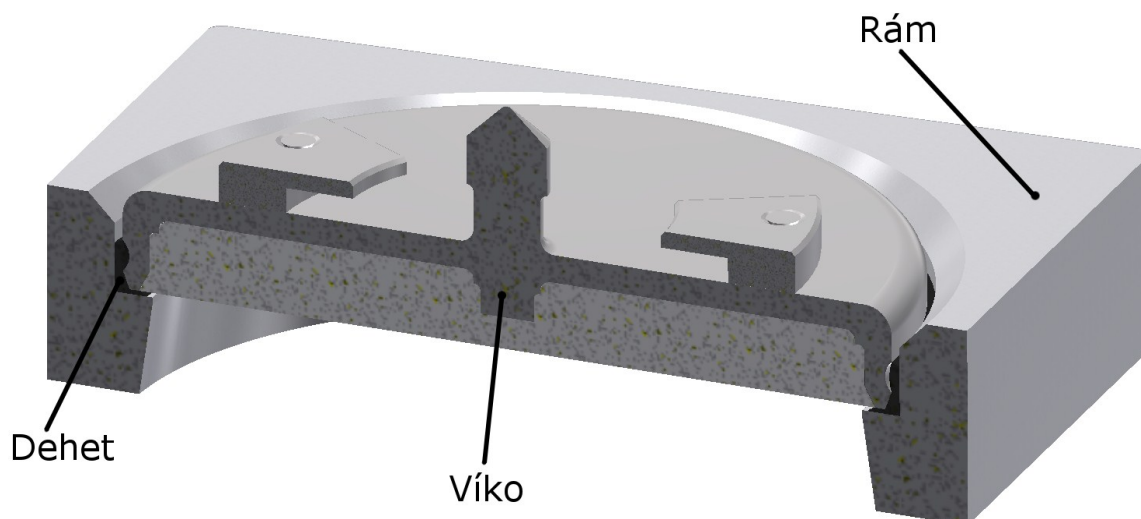
Tab. 2 Množství látek v koksárenském plynu [1]

Produkt	Procentuální množství [g/N.m ³]
dehet	60 – 130
benzolové uhlovodíky	20 – 40
naftalen	8 – 12
čpavek	5 – 10
sirovodík	5 – 10
kyanovodík	0,5 – 1,5
vody dle vlhkosti uhlí	350 – 500

6. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

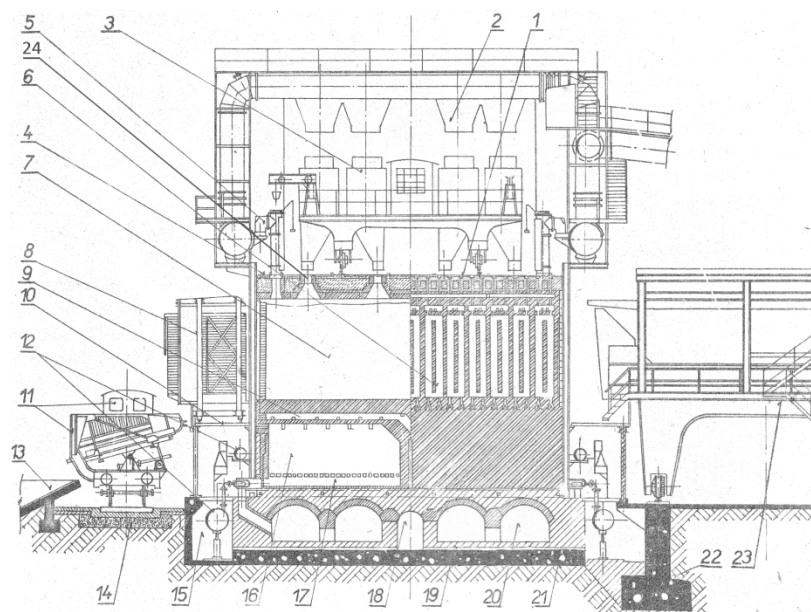
6.1 Úvod do problematiky

Během přeměny uhlí v koks provází tento proces tvorba koksárenského plynu, který mimo jiné obsahuje dehet. Dehet je složením převážně aromatizovaných sloučenin. Hlavní složkou je benzen, fenol, antracen, pyridinové zásady, antracen, naftalen a smola. Tato složka plynu kondenzuje mezi víkem a rámem koksárenské baterie a dochází k jejímu slepení. Toto nežádoucí spojení je zobrazeno v řezu na obr. 6.1. Dehet, který zůstane přilepený na víku a rámu po porušení spojení je nutno odstranit. Tímto problémem se zabývá má bakalářská práce navrhnout mechanismus, který tyto pozůstatky očistí.



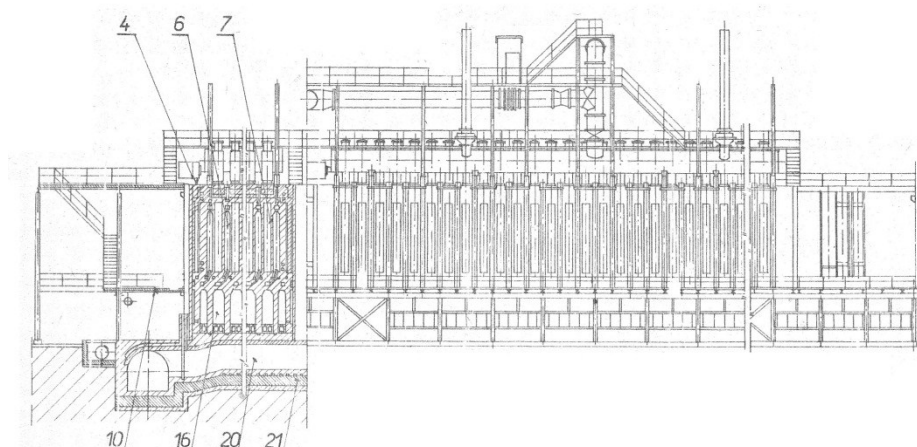
Obr. 6.1 Slepení rámu s víkem dehtem

Pro pochopení, kde je umístěno víko, ostatní obsluhovací stroje a zařízení, z toho některé budou použity u konstrukčního řešení, je nutné uvést následující zobrazení koksárenské baterie s popisem obr 6.2 a obr 6.3. Jejich funkci je popsána v úvodní rešerši.



Obr. 6.2 Koksárenská baterie pro sypný provoz – příčný řez [2]

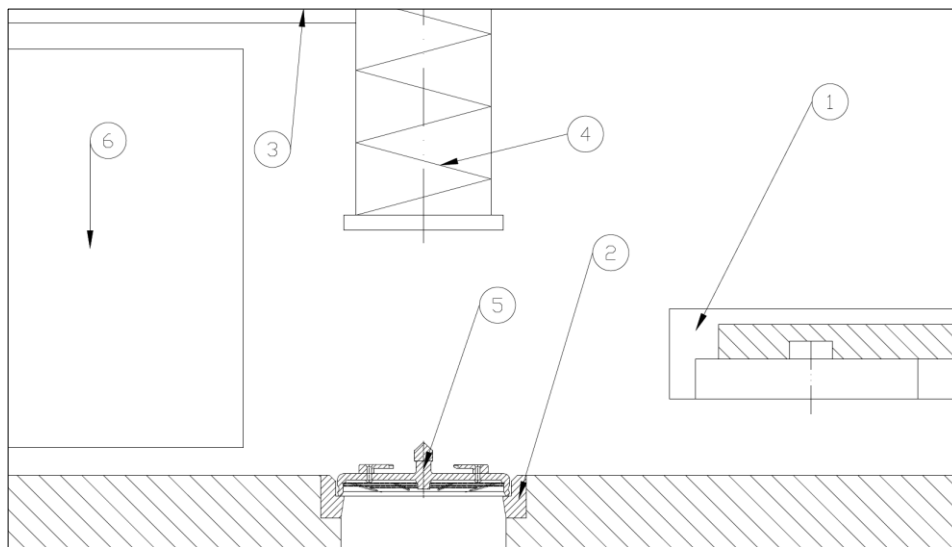
1 Drobná armatura, 2 uhelná věž, 3 plnicí vůz, 4 strop baterie, 5 odsávací zařízení, topné kanálky, 7 koksovací komora, 8 vodící vůz, 9 prodloužený regenerátorový kanál, 10 obsluhovací plošina, 11 hasící vůz a elektrická lokomotiva, 12 potrubí topného plynu, 13 koksová rampa, 14 jízdní dráha hasícího vozu, 15 kanál pro potrubí vysokopecního plynu, 16 regenerátor, 17 rozdělovací kanál, 18 chladicí kanál, 19 chladicí kanálky, 20 kouřový kanál, 21 základová deska, 22 základy kolejí výtlačného a srovnávacího stroje, 23 výtlačný a srovnávací stroj. 24 víko s rámem je umístěné pod plnicím vozem.



Obr. 6.3 Koksárenská baterie pro sypný provoz – podélný řez [2]

6.2 Úvaha nad možnou konstrukcí

Před řešením konstrukční části je nutné brát v úvahu omezení spjatá s provozem. Především nadbytečně neprodlužovat proces čištění, brát ohled na úklid a realizovat konstrukci tak, aby neomezovala prostorově ostatní přístroje. Po zvážení těchto podmínek mi vyplynulo, že jediné volné místo pro konstrukci je na protější straně snímače vík. Konstrukce čističe bude uchycena k rámu plnicího vozu, jednoduché schéma je na obr. 6.4 (pohled z boku). Pro představu je na obr 6.5 zobrazena spodní část plnicího vozu (pohled zepředu).



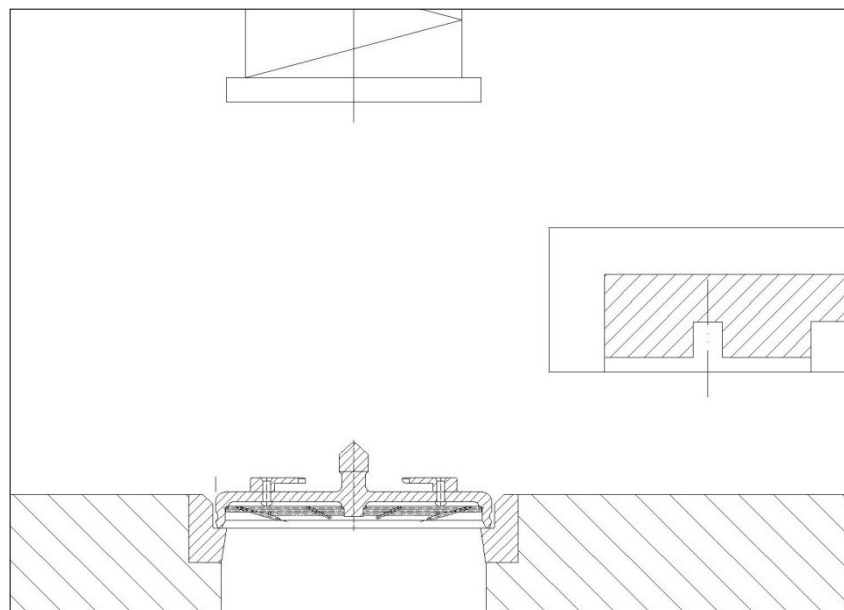
Obr. 6.4 Schéma uchycení konstrukce čističe

1 – snímač vík, 2 – rám u víka, 3 – rám plnicího vozu, 4 – teleskopický sypač uhlí umístěný na plnicím voze, 5 – víko, 6 – volný prostor pro čistící zařízení

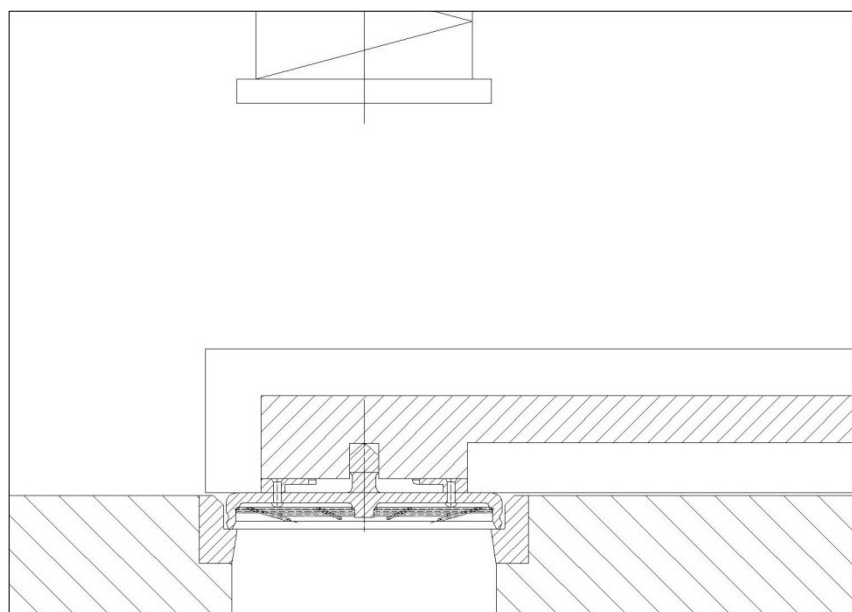


Obr. 6.5 Plnicí vůz

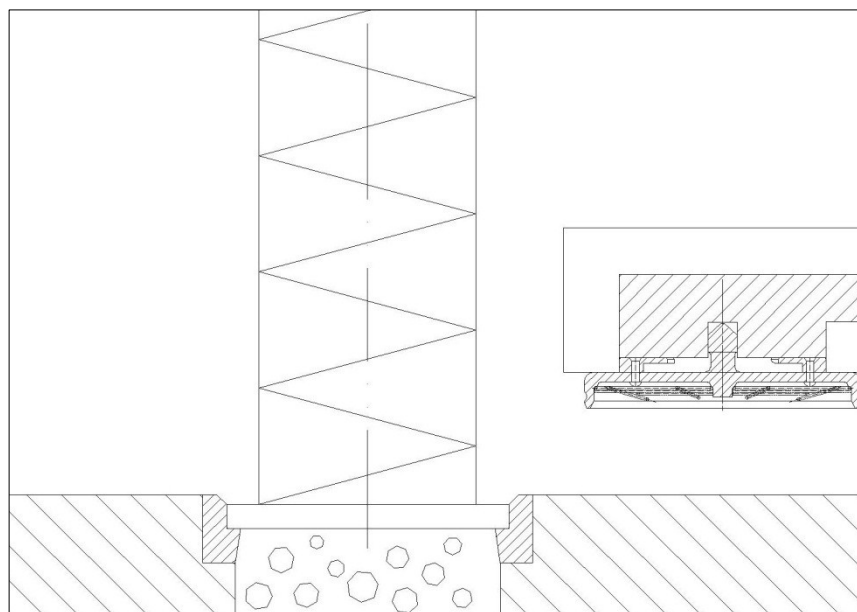
Proces čištění víka jsem zvolil u procesu plnění komory uhlím. Jednotlivé kroky procesu plnění jsou zobrazeny schematicky na obr. 6.6 až obr. 6.10.



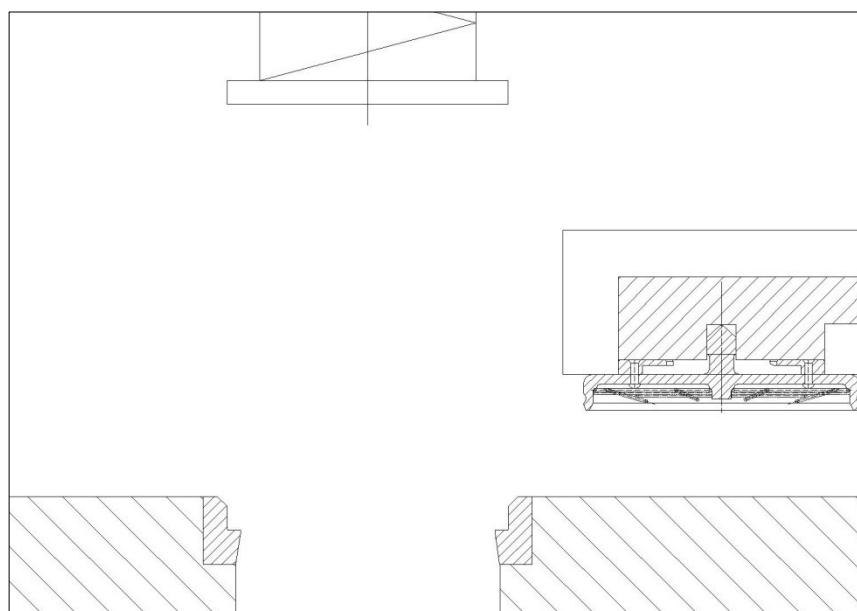
Obr. 6.6 I. – Základní poloha



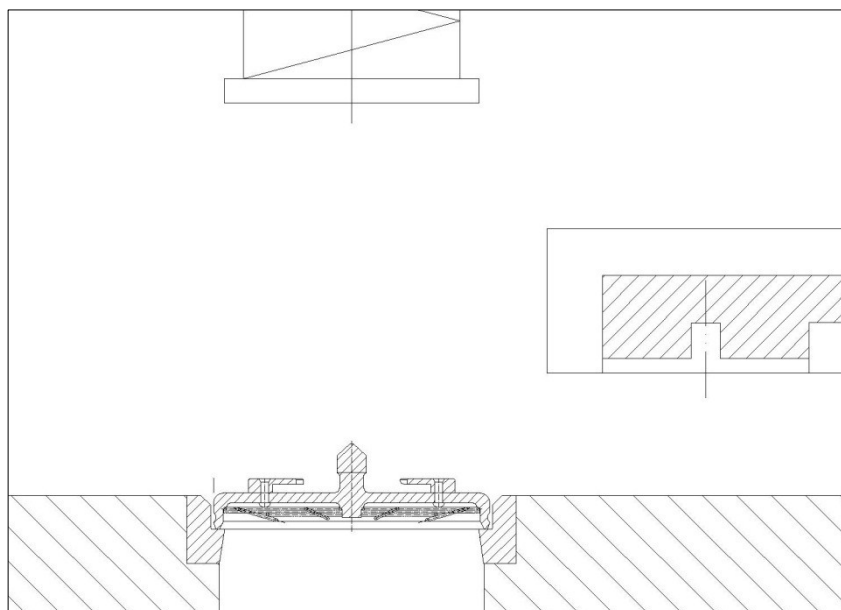
Obr. 6.7 II. – Snímač vík přijede nad víko, sjede vertikálně k němu, sepne elektromotor a analogicky opustí stávající pozici s víkem.



Obr. 6.8 III. – Teleskopický sypač vertikálně sjede a začne komoru plnit.

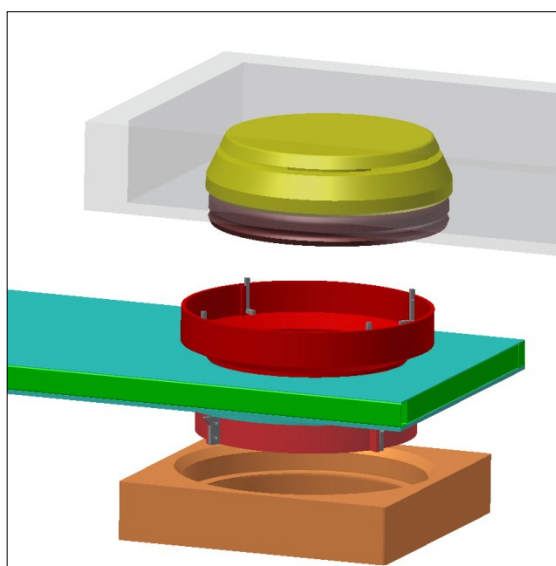


Obr. 6.9 IV. – Po naplnění komory se teleskopický sypač vrátí do základní polohy.



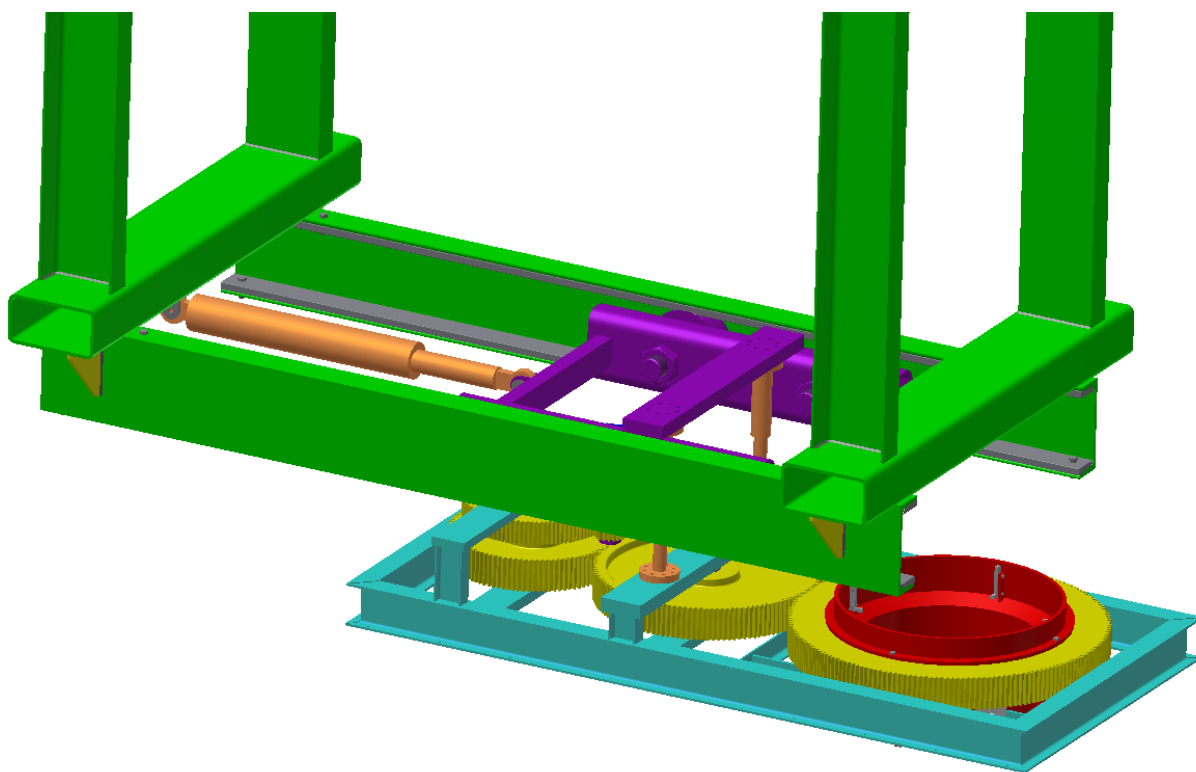
Obr. 6.10 V. – Snímač vík vrátí víko do rámu a odjede do původní pozice.

Proces čištění bude probíhat mezi II. a III. krokem z výhodných důvodů jako je prázdná koksovací komora a umístění víka ve snímači. Snímač je ovládán výpočetní technikou, tedy veškeré posuvy lze korigovat. Volím konstrukci takovou, aby mohlo probíhat zároveň čištění víka a rámu obr. 6.11. Jedná se o ozubené kolo, na kterém jsou připevněny čistící nástroje s noži, které vlivem přenášené rotace čistí přisunuté víko a rám ke kterému se posune. Posun čističe bude ovládán třemi hydraulickými válci. Hnědá barva značí víko, žlutá (elektromagnet) s průsvitnou šedou označuje snímač vík, zelená rám, červená čistící nástroj a zelená s modrou nosné prvky.

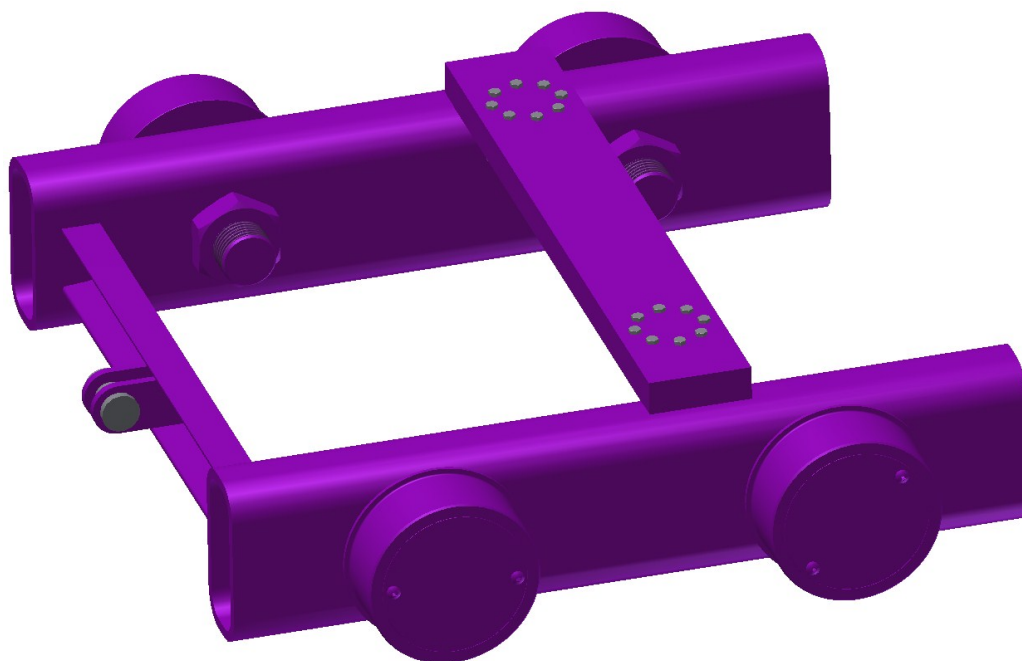


Obr 6.11 Konstrukční návrh čističe

Předpokládaný model čističe bez krytu je zobrazen na obr. 6.12, kde je označen nosný rám zelenou barvou, pojezd fialovou a zelenomodrou je čistící zařízení. Rám je svařen z nosníků profilu dutého obdélníkového a I profilu. Pro zamezení sil od ohybu a prodloužení svarových housenek jsou použity podpěry. Čistící zařízení bude poháněný elektromotorem, který bude přenášet kroutící moment přes převodovku na pomocné ozubené soukolí (žlutá barva) a to bude pohánět ozubené kolo s čistícím nástrojem s noži. Posuvy budou zajištěny 3 hydraulickými válci (oranžová barva), které budou připojeny k nosné konstrukci. Na obr. 6.13 je pro lepší představu zobrazen samostatně pojezd, složený z obdélníkových profilů a I profilu. Výkresová sestava pojezdového kola je zobrazena v příloze.

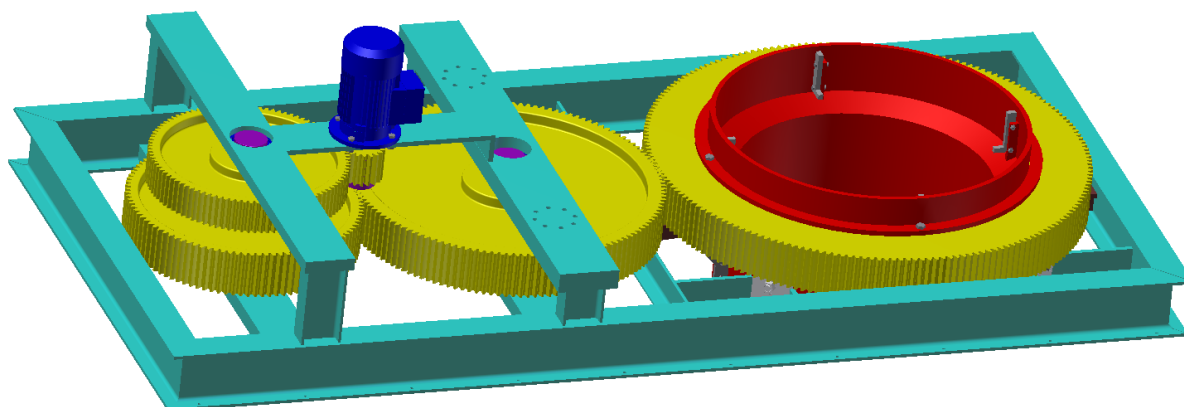


Obr. 6.12 Předpokládaný model čističe bez krytu

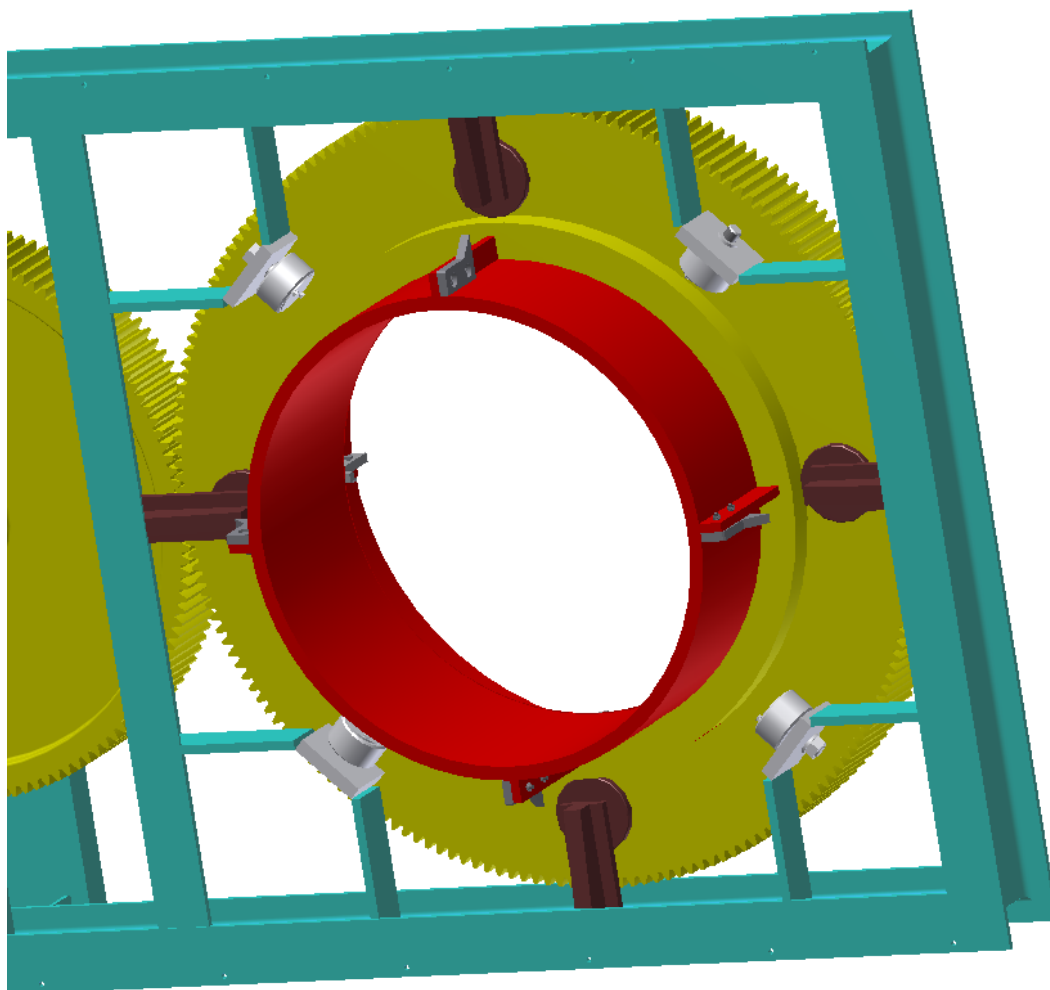


Obr 6.13 Pojezd

Na obr. 6.14 je zobrazeno čistící zařízení, kde jsou ke svařované nosníkové konstrukci uchyceny ozubená soukolí, elektromotor hřídele. Obr. 6.15 zobrazuje způsob uchycení ozubeného kola s čistěčem pomocí dvou typů vodících kotoučů, jeden typ (bílý vodící kotouč) zachytává tíhu ozubeného kola a druhý typ (hnědý vodící kotouč) zamezuje posun. Sestavné výkresy vodících kotoučů jsou umístěny v příloze.



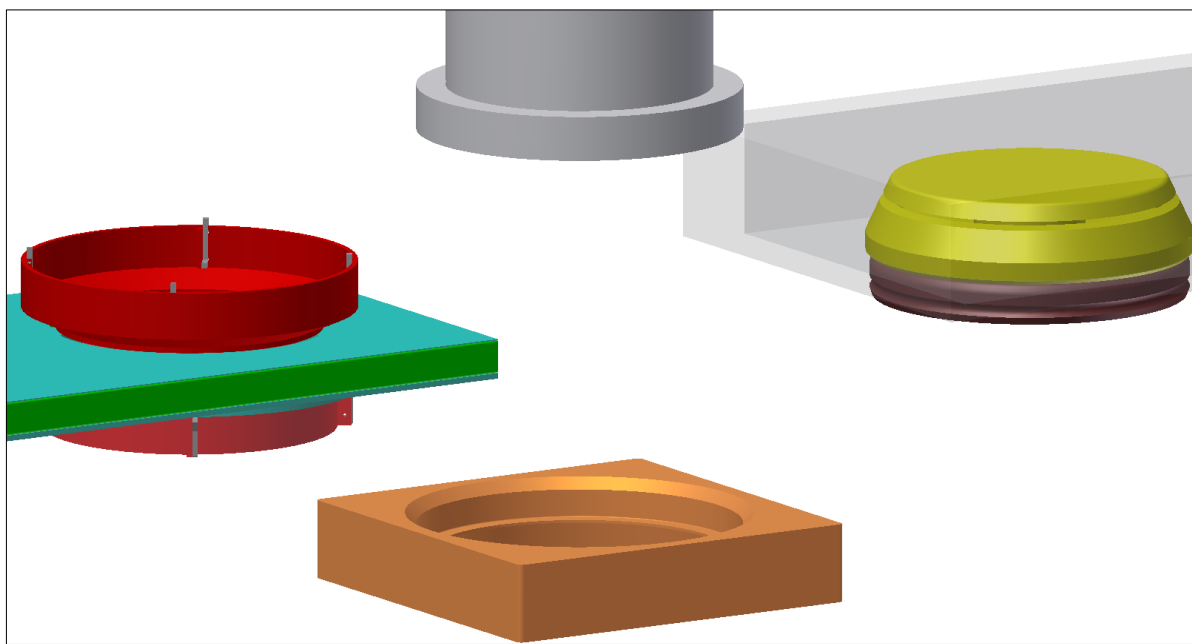
Obr. 6.14 čistící zařízení



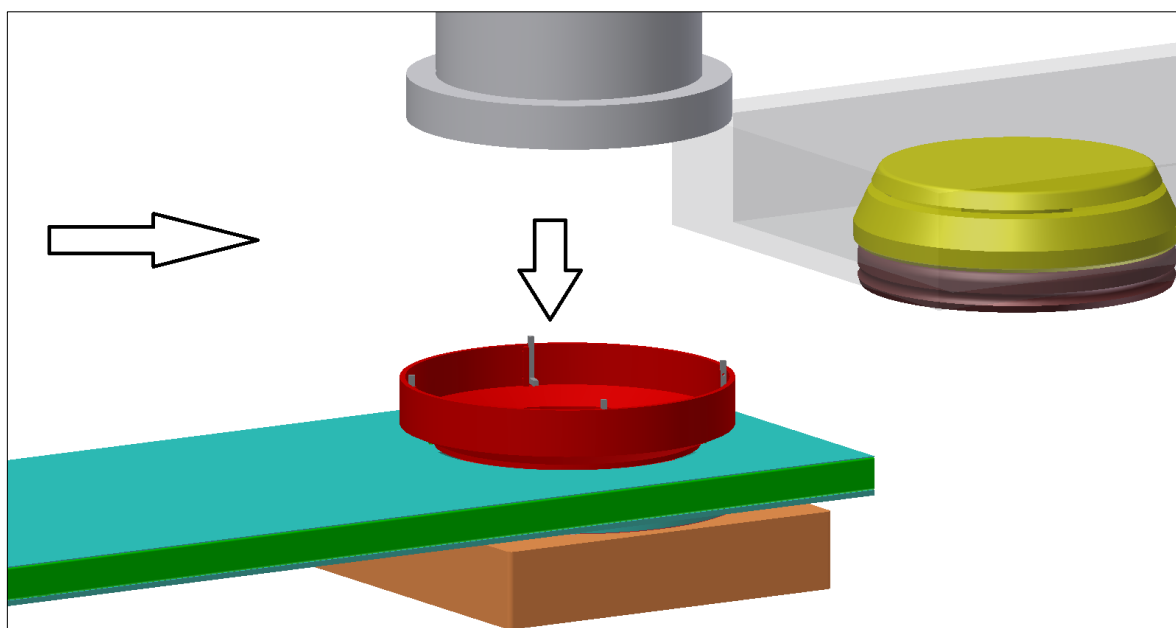
Obr. 6.15 Uchycení ozubeného kola

6.3 Pracovní cyklus čistícího zařízení

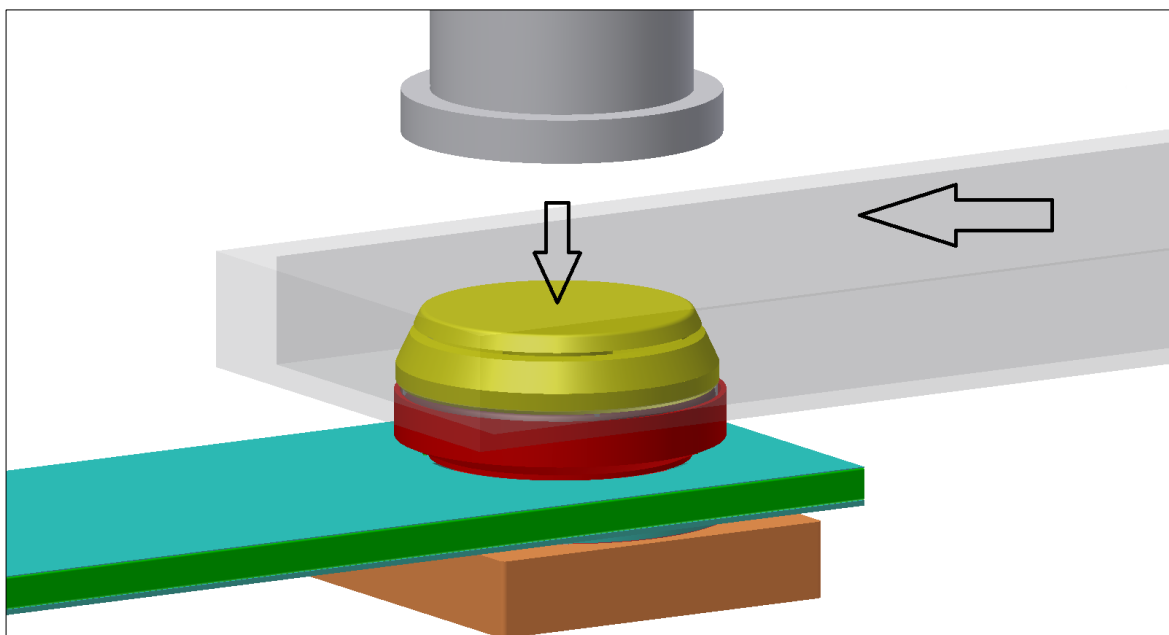
Jak již bylo zmíněno, čištění bude probíhat mezi II. a III. krokem plnění procesu. Pracovní cyklus je znázorněn na obr. 6.16 až obr. 6.18. První krok čistícího cyklu je posunutí čističe do rámu a jeho následné čištění. Druhým krokem je přisun snímače s víkem a jeho očištění. Po tomto kroku následuje opačný postup návratu na původní pozice a pokračování v III. kroku plnění.



Obr. 6.16 Základní poloha



Obr. 6.17 posun čističe a čištění rámu

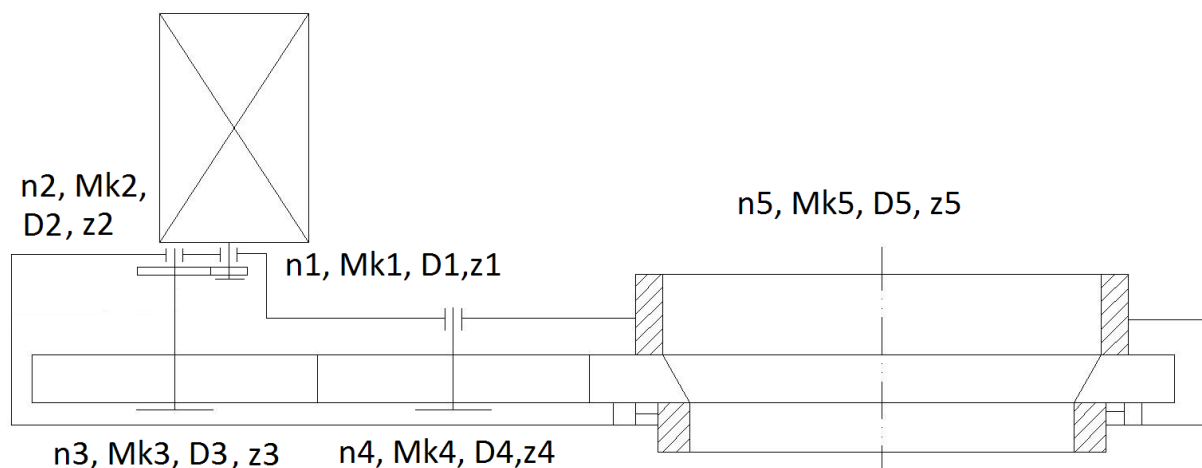


Obr. 6.18 Přisun snímače s víkem a následné čištění víka

7. VÝPOČET PARAMETRŮ PŘEVODU

7.1 Volba a výpočet základních parametrů

Čistič je poháněn elektromotorem, jenž přenáší krouticí moment přes jednostupňovou převodovku na čelní ozubené soukolí s přímými zuby, které pohání čelní ozubené kolo s čistícím nástrojem s noži obr. 7.1.



Obr. 7.1 Schéma převodu

Čistící zařízení bude poháněné přírubovým elektromotorem od firmy Siemens typ 1LE1001-1DB6, který je určen pro pohon průmyslových zařízení.

Vlastnosti motoru:

Typová řada:	1LE1
Velikost (osová výška):	160 mm
Výkon:	18,5 kW
Otáčky:	1470 min ⁻¹
Napětí:	400 / 690V 50Hz
Váha:	100 kg
Výstupní hřídel:	Ø19mm

7.2 Výpočet jednostupňové převodovky soukolí 1,2

Z důvodu velkých průměrů na kolech 3,4,5 použiju jednostupňovou převodovku ke zvýšení kroutícího momentu. Volím převodový poměr $u_{1,2}=5$.

Výpočet otáček a kroutícího momentu na převodovce:

$$u_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Ze vzorce (1) vyplývá:

$$n_2 = \frac{1475}{5} = 295 \text{ min}^{-1}$$

$$M_{k1} = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60}} \quad (2)$$

$$M_{k1} = \frac{30 \cdot 18500}{\pi \cdot 1470} = 120,18 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výpočet kroutícího momentu na výstupu převodovky:

$$M_{k2} = M_{k1} \cdot u_{1,2} \cdot \mu_L \cdot \mu_{OS} \quad (3)$$

$$M_{k2} = 120,18 \cdot 5 \cdot 0,98 \cdot 0,995 = 585,938 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Volím $z_1=19$ a dopočítám z_2 :

$$z_2 = u_{1,2} \cdot z_1 \quad (4)$$

$$z_2 = 5 \cdot 19 = 95$$

Z důvodu sudého počtu zubů dosazuji $z_2=96$. Volím pro pastorek i kolo materiál ČSN 14 140 jedná se o konstrukční ocel slitinovou.

Návrh modulu m zjistím pomocí programu Modul [6]. Předpokládám únavové poškození zubů z namáhání v ohybu a dotyku obr. 7.2.

Návrhový výpočet ozubení podle ČSN 01 4686 - část 4 © M.Němček VŠB-TU Ostrava

Typ ozubení
☒ Čelní
☐ Kuželové
☐ Hřeben

z_1 19
 z_2 96
 β 0 [°]
 T_1 120.18 [N·m]
 ψ_m 5
Schéma 6
 $K_{H\beta}$ 1.013
 K_A 1.5
 σ_{Flimb}^0 740 [MPa]
 σ_{Hlim}^0 1288 [MPa]
 V_{HV} 615

$m_n = 3.736$ [mm]
 $b = 18.7$ [mm]

OHYB

$$m_n = f_F \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot T_1}{\psi_m \cdot z_1 \cdot \sigma_{FP}}}$$

$f_F = 18$
 $K_F = K_A \cdot K_{H\beta}$
 $\sigma_{FP} = 0,6 \cdot \sigma_{Flimb}^0$

$m_{n\ ohyb} = 2.934$ [mm]

DOTYK

$$d_1 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot T_1}{\psi_{d1} \cdot \sigma_{HP}^2} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

$f_H = 770$ ($\beta = 0^\circ$)
 $f_H = 690$ ($\beta > 0^\circ$)
 $K_H = K_A \cdot K_{H\beta}$
 $\sigma_{HP} = 0,8 \cdot \sigma_{Hlim}^0$
 $\psi_{d1} = \psi_m \cdot \frac{\cos \beta}{z_1}$
 $u = \frac{z_2}{z_1}$
 $m_n = d_1 \cdot \frac{\cos \beta}{z_1}$

$m_{n\ dotyk} = 3.736$ [mm]

<http://www.347.vsb.cz/staff/nemcek/SOFTWARE/CZ/1.htm>

Obr. 7.2 Výpočet modulu

Vyberu vypočítaný modul s nejvyšší hodnotou a zvolím nejbližší vyšší normalizovaný modul, tedy $m=4$.

7.2.1 Výpočet geometrických rozměrů ozubeného soukolí v převodovce

Volím soukolí VN:

Rozměry pastorku V^+ :

Počet zubů: $z_1 = 19$
Modul $m = 4$
Úhel $\alpha = 20^\circ$

Jednotkové posunutí:

$$x_1 = \frac{14 - z_1}{17} \quad (5)$$

$$x_1 = \frac{14 - 19}{17} = -0,2941 \text{ mm}$$

Posunutí základního profilu:

$$k_1 = x_1 \cdot m \quad (6)$$

$$k_1 = -0,2941 \cdot 4 = -1,1764 \text{ mm}$$

Průměr roztečné kružnice:

$$D_1 = z_1 \cdot m \quad (7)$$

$$D_1 = 19 \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

Výška hlavy zubu:

$$h_{a1} = m + x_1 \cdot m \quad (8)$$

$$h_{a1} = 4 - 1,1764 = 2,8236 \text{ mm}$$

Hlavová vůle zubů:

$$c_{a1} = 0,25 \cdot m \quad (9)$$

$$c_{a1} = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ mm}$$

Výška paty zubu:

$$h_{f1} = m - x_1 \cdot m + c_a \quad (10)$$

$$h_{f1} = 4 - 1,1764 + 1 = 3,8236 \text{ mm}$$

Výška zubu:

$$h_1 = h_{a1} + h_{f1} \quad (11)$$

$$h_1 = 2,8236 + 3,8236 = 6,6472 \text{ mm}$$

Průměr hlavové kružnice:

$$D_{a1} = D_1 + 2 \cdot h_{a1} \quad (12)$$

$$D_{a1} = 76 + 2 \cdot 2,8236 = 81,6472 \text{ mm}$$

Průměr patní kružnice:

$$D_{f1} = D_1 - 2 \cdot h_{f1} \quad (13)$$

$$D_{f1} = 76 - 2 \cdot 3,8236 = 68,3528 \text{ mm}$$

Průměr základní kružnice:

$$D_{b1} = D_1 \cdot \cos \alpha \quad (14)$$

$$D_{b1} = 76 \cdot \cos(20^\circ) = 71,4166 \text{ mm}$$

Rozteč:

$$t = \pi \cdot m \quad (15)$$

$$t = \pi \cdot 4 = 12,56 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost:

$$a = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (16)$$

$$a = 4 \cdot \frac{19 + 96}{2} = 230 \text{ mm}$$

Rozměry kola V:

Počet zubů $z_2 = 96$

Modul $m = 4$

Úhel $\alpha = 20^\circ$

Jednotkové posunutí:

$$x_2 = -x_1 \quad (17)$$

$$x_2 = 0,2941 \text{ mm}$$

Posunutí základního profilu ze vzorce (6):

$$k_2 = 0,2941 \cdot 4 = 1,1764 \text{ mm}$$

Průměr roztečné kružnice ze vzorce (7):

$$D_2 = 96 \cdot 4 = 384 \text{ mm}$$

Výška hlavy zubu ze vzorce (8):

$$h_{a2} = 4 + 1,1764 = 5,1764 \text{ mm}$$

Hlavová vůle zubů ze vzorce (9):

$$c_{a2} = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ mm}$$

Výška paty zubu ze vzorce (10):

$$h_{f2} = 4 - 1,1764 + 1 = 3,8236 \text{ mm}$$

Výška zubu ze vzorce (11):

$$h_2 = 5,1764 + 3,8236 = 9,0000 \text{ mm}$$

Průměr hlavové kružnice ze vzorce (12):

$$D_{a2} = 384 + 2 \cdot 1,5685 = 387,137 \text{ mm}$$

Průměr patní kružnice ze vzorce (13):

$$D_{f2} = 384 - 2 \cdot 2,369 = 379,262 \text{ mm}$$

Průměr základní kružnice ze vzorce (14):

$$D_{b2} = 384 \cdot \cos(20^\circ) = 360,842 \text{ mm}$$

Rozteč ze vzorce (15):

$$t = \pi \cdot 4 = 12,56 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost ze vzorce (16):

$$a = 4 \cdot \frac{19 + 96}{2} = 230 \text{ mm}$$

7.2.2 Pevnostní výpočet

Uvažuji zjednodušený pevnostní výpočet podle [3]:

$$z_1 = 19$$

$$D_1 = 76 \text{ mm}$$

$$D_{a1} = 81,6472 \text{ mm}$$

$$D_{b1} = 71,4166 \text{ mm}$$

$$z_2 = 96$$

$$D_2 = 384$$

$$D_{a2} = 394,3528 \text{ mm}$$

$$D_{b2} = 360,842 \text{ mm}$$

$$m = 4$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$b_{12} = 65 \text{ mm}$$

$$a = 230$$

$$p_b = \pi \cdot m \cdot \cos \alpha \quad (18)$$

$$p_b = \pi \cdot 4 \cdot \cos(20^\circ) = 11,81 \text{ mm}$$

Z důvodu stejného materiálu pastorku a kola, provádím výpočty jen pro pastorek. Kolo bude mít stejné výsledky. Sílu F_t vzorec (20) počítám pro životnost ozubených kol 2000 hodin.

$$\varepsilon_a = \frac{0,5 \cdot (\sqrt{D_{a1}^2 - D_{b1}^2} - \sqrt{D_{a2}^2 - D_{b2}^2}) + a \cdot \sin \alpha}{p_b} \quad (19)$$

$$\varepsilon_a = \frac{0,5 \cdot (\sqrt{81,6472^2 - 71,4166^2} - \sqrt{394,3528^2 - 360,842^2}) + 230 \cdot \sin 20^\circ}{11,81} = 1,6$$

$$F_t = \frac{2000 \cdot M_{K1}}{D_1} \quad (20)$$

$$F_t = \frac{2000 \cdot 120,18}{76} = 3157,895 \text{ N}$$

Kontrola z hlediska únavy v dotyku:

$$\sigma_H = \sigma_{HO} \cdot \sqrt{K_H} \leq \sigma_{HP} \quad (21)$$

$$\sigma_{HO} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{12} \cdot D_1} \cdot \frac{u_{1,2} + 1}{u_{1,2}}} \quad (22)$$

kde $Z_E = 190$; $Z_H = 2,5$; $Z_\varepsilon = 0,9$; $K_A = 1,5$; $K_{H\beta} = 1,013$; $K_{H\alpha}$; $K_{HV} = 1,2$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV} \quad (23)$$

$$K_H = 1,5 \cdot 1,013 \cdot 1,2 = 1,8234$$

kde $Z_R = 1$; $S_{Hmin} = 1,3$

$$\sigma_{HP1} = \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot Z_R}{S_{Hmin}} \quad (24)$$

$$\sigma_{HP1} = \frac{1288 \cdot 1}{1,3} = 990,769 \text{ MPa}$$

Doplním a vypočítám vzorec (21) a (22).

$$\sigma_{HO} = 190 \cdot 2,5 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{3157,895}{65 \cdot 76} \cdot \frac{5 + 1}{5}} = 361,9419 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = 361,9419 \cdot \sqrt{1,8234} = 488,7422 \text{ MPa} \leq 990,7692 \text{ MPa}$$

Kontrola na dotyk při jednorázovém působení největšího zatížení:

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{HO} \cdot \sqrt{\frac{F_{t1} \cdot K_H}{F_t}} \leq \sigma_{HPmax} \quad (25)$$

$$\sigma_{HPmax} = 4 \cdot V_{HV} \quad (26)$$

$$\sigma_{HPmax} = 4 \cdot 615 = 2460 \text{ MPa}$$

$$F_{t1} = F_t \cdot K_{AS} \quad (27)$$

$$F_{t1} = 3157,895 \cdot 2 = 6315,789 \text{ N}$$

$$K_{AS} = 2 (\geq K_A)$$

Vypočítané hodnoty dosadím do rovnice (25):

$$\sigma_{Hmax} = 361,9419 \cdot \sqrt{\frac{6315,789 \cdot 1,8234}{3157,895}} = 691,1858 \text{ MPa} \leq 2460$$

Kontrola z hlediska únavy v ohybu:

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_{12} \cdot m} \cdot K_F \cdot Y_\beta \cdot Y_{FS} \cdot Y_\varepsilon \leq \sigma_{FP} \quad (28)$$

kde $K_A = 1,5$; $K_{F\beta} = K_{H\beta} = 1,013$; K_{Ha} , $K_{HV} = 1,2$; $K_F = K_H = 1,8234$; $Y_\beta = 1$

$$Y_\varepsilon = 0,2 + \frac{0,8}{\varepsilon_a} \quad (29)$$

$$Y_\varepsilon = 0,2 + \frac{0,8}{1,602} = 0,6994$$

kde $S_{Fmin} = 1,4$; $Y_{FS1} = 5$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flimb1}}{S_{Fmin}} \quad (30)$$

$$\sigma_{FP} = \frac{740}{1,4} = 528,5714 \text{ MPa}$$

Zjištěné hodnoty dosadím do rovnice (28).

$$\sigma_{F1} = \frac{3157,895}{65 \cdot 4} \cdot 1,8234 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 0,6994 = 77,43897 \text{ MPa} \leq 528,5714$$

Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení:

$$\sigma_{Fmax} = \sigma_{F1} \cdot \frac{F_{t1}}{F_t} \leq \sigma_{FPmax} \quad (31)$$

$$\sigma_{FPmax1} = 0,8 \cdot 2,5 \cdot \sigma_{Flimb1} \quad (32)$$

$$\sigma_{FPmax1} = 0,8 \cdot 2,5 \cdot 740 = 1036 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Fmax} = 77,43897 \cdot \frac{6315,789}{3157,895} = 309,7559 \text{ MPa} \leq 1036$$

Všechny podmínky kontroly byly splněny.

7.2.3 Návrh průměru hřídele z pevnostní podmínky v krutu

$$d_{2h \min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{K2}}{\pi \cdot \tau_D}} \quad [mm] \quad (33)$$

-kde volím $\tau_D=20\text{MPa}$

$$d_{2h \min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 585,938 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20}} = 53,0mm$$

Volím $d_2=65mm$.

7.2.4 Návrh pera na hřídeli

Výpočet síly působící na pero:

$$F_2 = \frac{M_{k2}}{\frac{d_{2h}}{2} + \frac{t_2}{2}} \quad (34)$$

$$F_2 = \frac{585,938 \cdot 10^3}{\frac{65}{2} + \frac{4,2}{2}} = 16934,624N$$

kde $t_2=4,2\text{mm}$ je vzdálenost pera nad hřídelí

Teoretická délka pera:

$$l'_2 = \frac{F_2}{p_{D2} \cdot t_2} \quad (35)$$

$$l'_2 = \frac{16934,624}{100 \cdot 4,2} = 40,32\text{mm}$$

kde $p_{D2}=100\text{ MPa}$ je dovolený tlak u oceli

Skutečná délka pera:

$$l_2 = l'_2 + b_2 \quad (36)$$

$$l_2 = 40,32 + 18 = 58,32\text{mm}$$

Volím délku pera $l_{s2}=63\text{mm}$.

Kontrola na tlak:

$$p_2 = \frac{F_1}{l_{s2} \cdot t_2} \quad (37)$$

$$p_2 = \frac{16934,624}{63 \cdot 4,2} = 64\text{MPa}$$

$$p_2 \leq p_{Dov} \quad (38)$$

$$64 \leq 100$$

kde $p_{Dov} = 100 \text{ MPa}$ je dovolený tlak u oceli

Kontrola na smyk:

Navržené pero dále kontrolujeme na stříh.

$$\begin{aligned}\tau_s &\leq \tau_{Ds} \\ \frac{F}{l_2 \cdot b} &\leq 30 [\text{MPa}] \\ \frac{18028,861}{63,18} &\leq 30 \\ 18,9 &\leq 30\end{aligned}\tag{39}$$

kde střížná síla F je:

$$\begin{aligned}F &= \frac{M_{K2}}{\frac{d_{2h}}{2}} \\ F &= \frac{585,938 \cdot 10^3}{\frac{65}{2}} = 18028,861 \text{ N}\end{aligned}\tag{40}$$

7.3 Výpočet ozubeného soukolí 3,4

Z důvodu velikosti kol volím celkový převodový poměr $u_{3,4,5} = 1,9$. Dále volím dílčí převod $u_{3,4} = 1,35$ a vypočítám zbývající převod.

$$\begin{aligned}u_{3,4,5} &= u_{3,4} \cdot u_{4,5} \\ u_{4,5} &= \frac{u_c}{u_{3,4}} = \frac{1,9}{1,35} = 1,4\end{aligned}\tag{41}$$

Volím pro pastorek i kolo materiál ČSN 12 050 (konstrukční ocel uhlíková). Z důvodu nutnosti velkého kola byl zvolen větší počet zubů $z_3 = 100$.

Výpočet zubů z_4 ze vzorce (4):

$$z_4 = u_{3,4} \cdot z_3 = 1,35 \cdot 100 = 135$$

Volím lichý počet zubů $z_4 = 135$.

7.3.1 Návrh modulu ozubení

Návrh normálního modulu m_n zjistím pomocí programu Modul [6]. Předpokládám únavové poškození zubů z namáhání v ohybu a dotyku.

Návrhový výpočet ozubení podle ČSN 01 4686 - část 4 © M.Němček VŠB-TU Ostrava

Typ ozubení
☒ Čelní
☐ Kuželové
☐ Hřeben

z_1 100
 z_2 135
 β 0 [°]
 T_1 585.938 [N·m]
 Ψ_m 9
Schéma 3
 $K_{H\beta}$ 1.012
 K_A 1.5
 σ_{Flimb}^0 356 [MPa]
 σ_{Hlim}^0 430 [MPa]
 V_{HV} 155

Buttons: Help, Vyber, Help, Help, Vyber, Vyber, Iisk, Moduly, Konec

OHYB

$$m_n = f_F \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot T_1}{\Psi_m \cdot z_1 \cdot \sigma_{FP}}}$$

$f_F = 18$
 $K_F = K_A \cdot K_{H\beta}$
 $\sigma_{FP} = 0,6 \cdot \sigma_{Flimb}^0$

DOTYK

$$d_1 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot T_1}{\Psi_{d1} \cdot \sigma_{HP}^2} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

$f_H = 770 \quad (\beta = 0^\circ)$
 $f_H = 690 \quad (\beta > 0^\circ)$
 $K_H = K_A \cdot K_{H\beta}$
 $\sigma_{HP} = 0,8 \cdot \sigma_{Hlim}^0$
 $\Psi_{d1} = \Psi_m \cdot \frac{\cos \beta}{z_1}$
 $u = \frac{z_2}{z_1}$
 $m_n = d_1 \cdot \frac{\cos \beta}{z_1}$

Results:
 $m_n = 4.049 \text{ [mm]}$
 $b = 36.4 \text{ [mm]}$
 $m_{n \text{ ohyb}} = 3.000 \text{ [mm]}$
 $m_{n \text{ dotyk}} = 4.049 \text{ [mm]}$

<http://www.347.vsb.cz/staff/nemcek/SOFTWARE/CZ/1.htm>

Obr. 7.3 Zjištění modulu

Zjištěné normální moduly z namáhání na ohyb a dotyk lze vidět na obr. 7.3. Modul s větší hodnotou porovnám s tabulkou normalizovaných modulů a vyberu nejbližší vyšší, který je $m_n=4,5$.

7.3.2 Návrh korekcí na vyrovnaní měrných skluzů

Kvůli zachování navržené pracovní osové vzdálenosti a_w , určíji korekci na vyrovnaní měrných skluzů u soukolí VN. Korekce $x_1=-x_2$ je vypočítaná pomocí programu Geometrie [9]. Veškeré zadané veličiny jsou zobrazeny na obr. 7.4.

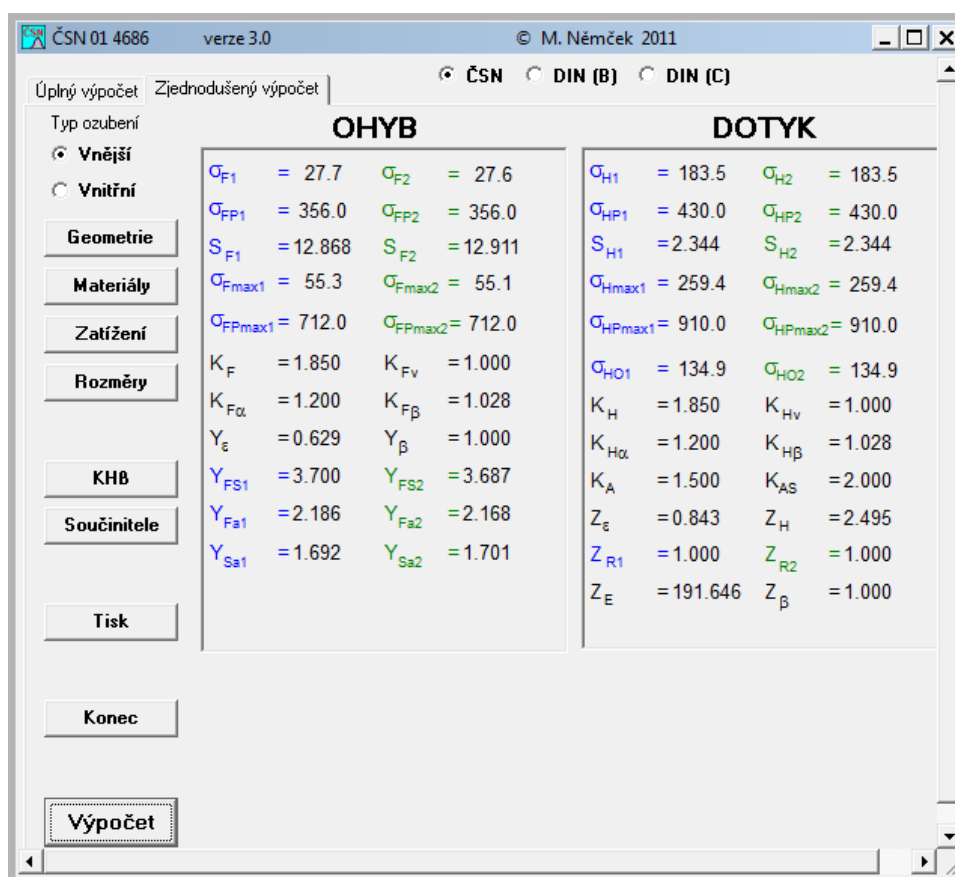
obr. 7.4 výpočet mezních korekcí

7.3.3 Pevnostní zjednodušená kontrola

Pevnostní kontrola dle ČSN 01 4686 část 4. byla provedena programem CSNw [8], kde bylo zadáno typ ozubení, geometrie ozubení, materiály ozubeného kola a pastorku, zatížení kroutícím momentem, šířka zubů v rozměrech, součinitel $KH\beta$ určený ze zvoleného schémata č.3 a součinitel Z_R . Tlačítkem výpočet byly zjištěny výsledky pevnostního výpočtu obr. 7.5. Kontrola je úspěšná v případě splnění podmínek uvedených níže.

Podmínky pevnostní kontroly:

- 1) $S_{H1} > 1,2$ [-]
- 2) $S_{H2} > 1,2$ [-]
- 3) $S_{F1} > 1,4$ [-]
- 4) $S_{F2} > 1,4$ [-]
- 5) $\sigma_{Hmax1} \leq \sigma_{HPmax1}$
- 6) $\sigma_{Hmax2} \leq \sigma_{HPmax2}$
- 7) $\sigma_{Fmax1} \leq \sigma_{FPmax1}$
- 8) $\sigma_{Fmax2} \leq \sigma_{FPmax2}$



obr. 7.5 Výsledek zjednodušené pevnostní kontroly

Z obrázku 7.5 je zřejmé, že jsou splněny veškeré podmínky.

7.3.4 Zjištění geometrických a záběrových parametrů

Po úspěšném splnění pevnostní kontroly, jsem provedl zobrazení geometrických a záběrových parametrů obr. 7.6 tlačítkem *Tabulka rozměrů* v programu Geometrie [9].

		Rozměr	PASTOREK		KOLO
Typ ozubení			Vnější		Vnější
Normální boční vůle	j_n	[mm]		0.0000	
Počet zubů	z	[-]	100		135
Počet zubů náhradního kola	z_n	[-]	100.000		135.000
Normální modul	m_n	[mm]		4.500	
Čelní modul	m_t	[mm]		4.500	
Úhel sklonu zubu roztečný	β	[°]		0	
Úhel sklonu zubu základní	β_b	[°]		0	
Úhel profilu čelní	α_t	[°]		20.00000	
Úhel záběru čelní	α_{tw}	[°]		20.00000	
Osová vzdálenost pracovní	a_w	[mm]		528.75000	
Osová vzdálenost roztečná	a	[mm]		528.75000	
Jednotková korekce	x	[-]	0.03045	$\Sigma = 0$	-0.03045
Hodnota posunutí profilu	$x \cdot m_n$	[mm]	0.13700		-0.13700
Průměr patní kružnice	d_f	[mm]	439.02400		595.97600
základní kružnice	d_b	[mm]	422.86168		570.86327
kr.začátku evolventy	d_L	[mm]	441.92504		598.76864
kr.začátku záběru	d_{fE}	[mm]	442.28523		599.31461
valivé kružnice	d_w	[mm]	450.00000		607.50000
roztečné kružnice	d	[mm]	450.00000		607.50000
kr.srážecí hrany	d_{aE}	[mm]	---		---
hlavové kružnice	d_a	[mm]	459.27400		616.22599
Tloušťka zubu na patní kružnici	s_f	[mm]	10.49577		10.63459
základní kružnici	s_b	[mm]	13.03850		15.05695
začátku evolventy	s_L	[mm]	9.71662		9.82164
valivé kružnici	s_w	[mm]	7.16831		6.96885
roztečné kružnici	s	[mm]	7.16831		6.96885
začátku sražení	s_{aE}	[mm]	---		---
hlavové kružnici	s_a	[mm]	3.62042		3.68082
Výška paty	h_f	[mm]	5.48800		5.76200
hlavy	h_a	[mm]	4.63700		4.36300
zubu	h	[mm]	10.12500		10.12500
Společná šířka kol	b	[mm]		90.000	
Délka evolventy	ev	[mm]	9.24349		9.28882
Měrný skluz na patě		[-]	-0.32601		-0.32601
Měrný skluz na hlavě		[-]	0.24586		0.24586
Poměr b/d	Ψ_d	[-]	0.200		0.148
Poměr b/ m_n	Ψ_m	[-]		20.000	
Součinitel trvání záběru profilu	ε_α	[-]		1.86649	
Součinitel trvání záběru krokem	ε_β	[-]		0	
Součinitel trvání záběru celkový	ε_γ	[-]		1.86649	
Délka dotyku 1 páru zubů	L_{pmax}	[mm]		90.00000	
Celková délka dotyku minim.	L_{smin}	[mm]		90.00000	
Celková délka dotyku maxim.	L_{smax}	[mm]		180.00000	
Čelní rozteč	p_t	[mm]		14.13717	
Čelní rozteč základní	p_{tb}	[mm]		13.28459	
Kontrolní rozměr přes zuby	W	[mm]	159.16901		214.32582
Počet měřených zubů	z_w	[-]	12		16
Minimální šířka kola pro měření	b_{min}	[mm]	---		---
Měřená konstant. tloušťka zubu	s_c	[mm]	6.32978		6.15365
Měřeno v konst. výšce (od hlavy)	h_c	[mm]	3.48508		3.24312
Kontrolní rozměr přes kuličky	M	[mm]	460.06405		617.78322
Průměr kuličky	d_t	[mm]	7.45874		7.66162
Poměrná výška hlavy profilu	h'_a	[-]	1.00000		1.00000
Poměrná hlavová vůle profilu	c'	[-]	0.25000		0.25000
Poměrný radius paty profilu	ρ'_f	[-]	0.38000		0.38000
Úhel profilu	α_n	[°]		20.00000	

obr. 7.6 Geometrické a záběrové parametry

7.3.5 Návrh průměru hřídele z pevnostní podmínky v krutu

Výpočet kroutícího momentu ze vzorce (3):

$$M_{k4} = 585,938 \cdot 1,35 \cdot 0,98 \cdot 0,995 = 771,32 N \cdot m$$

Výpočet minimálního průměru ze vzorce (33):

$$d_{4h \min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 771,32 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20}} = 58,129 mm$$

Volím $d_{4h} = 65 mm$.

7.3.6 Návrh pera na hřídeli

Výpočet síly působící na pero ze vzorce (34):

$$F_4 = \frac{M_{k4}}{\frac{d_{4h}}{2} + \frac{t_4}{2}} = \frac{771,32 \cdot 10^3}{\frac{65}{2} + \frac{4,2}{2}} = 22292,486 N$$

-kde $t_2 = 4,2 mm$ je vzdálenost pera nad hřídelí

Teoretická délka pera ze vzorce (35):

$$l'_4 = \frac{F_4}{p_{D4} \cdot t_4} = \frac{22292,486}{100 \cdot 4,2} = 53,077 mm$$

-kde $p_{D2} = 100 MPa$ je dovolený tlak u oceli

Skutečná délka pera ze vzorce (36):

$$l_4 = l'_4 + b_4 = 53,077 + 18 = 71,077 mm$$

Volím délku pera $l_{s4} = 80 mm$.

Kontrola na tlak ze vzorce (37) a (38):

$$p_4 = \frac{F_4}{l_{s4} \cdot t_4} = \frac{22292,486}{80,4,2} = 66,347 \text{ MPa}$$

$$p_4 \leq p_{Dov}$$

$$66,347 \leq 100$$

kde $p_{Dov} = 100 \text{ MPa}$ je dovolený tlak u oceli

Kontrola na smyk ze vzorce (39):

Navržené pero dále kontrolujeme na střih.

$$\tau_s \leq \tau_{DS}$$

$$\frac{F}{l_4 \cdot b} \leq 30 [\text{MPa}]$$

$$\frac{23732,923}{80,18} \leq 30$$

$$16,48 \leq 30$$

kde střížná síla F ze vzorce (40) je:

$$F = \frac{M_{K4}}{\frac{d_{4h}}{2}} = \frac{771,32 \cdot 10^3}{\frac{65}{2}} = 23732,923 \text{ N}$$

7.4 Výpočet ozubeného soukolí 4,5

Z důvodu uspořádání ozubených kol 3,4,5 zachováám modul $m_n = 4,5$.

Výpočet kroutícího momentu ze vzorce (3):

$$M_{k5} = M_{k4} \cdot u_{4,5} \cdot \mu_L \cdot \mu_{OS} = 771,32 \cdot 1,4 \cdot 0,98 \cdot 0,995 = 1047,66 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výpočet zubů z_5 ze vzorce (4):

$$z_4 = u_{4,5} \cdot z_4 = 1,4 \cdot 135 = 190$$

Volím sudý počet zubů $z_5 = 190$.

7.4.1 Návrh korekcí na vyrovnání měrných skluzů

Opět z důvodu zachování navržené pracovní osové vzdálenosti a_w , určíme korekci na vyrovnání měrných skluzů u soukolí VN. Korekce $x_1 = -x_2$ jsou vypočítané pomocí programu Geometrie [9]. Veškeré zadané veličiny jsou zobrazeny na obr. 7.7.

Obr. 7.7 Výpočet mezních korekcí

7.4.2 Pevnostní zjednodušená kontrola

Pevnostní kontrola byla opět provedena programem CSNw [8], kde bylo znovu zadáno typ ozubení, geometrie ozubení, materiály ozubeného kola a pastorku, zatížení kroutícím momentem, šířku zubů v rozměrech, součinitel $KH\beta$ určený ze zvoleného schémata č.3 a součinitel ZR . Tlačítkem výpočet byly zjištěny výsledky pevnostního výpočtu obr. 7.8. Kontrola je úspěšná v případě splnění podmínek uvedených níže.

Podmínky pevnostní kontroly:

- 1) $S_{H1} > 1,2$ [-]
- 2) $S_{H2} > 1,2$ [-]
- 3) $S_{F1} > 1,4$ [-]
- 4) $S_{F2} > 1,4$ [-]
- 5) $\sigma_{Hmax1} \leq \sigma_{HPmax1}$
- 6) $\sigma_{Hmax2} \leq \sigma_{HPmax2}$
- 7) $\sigma_{Fmax1} \leq \sigma_{FPmax1}$
- 8) $\sigma_{Fmax2} \leq \sigma_{FPmax2}$

OHYB		DOTYK	
σ_{F1}	= 36.1	σ_{F2}	= 36.0
σ_{FP1}	= 356.0	σ_{FP2}	= 356.0
S_{F1}	= 9.853	S_{F2}	= 9.879
σ_{Fmax1}	= 72.3	σ_{Fmax2}	= 72.1
σ_{FPmax1}	= 712.0	σ_{FPmax2}	= 712.0
K_F	= 1.850	K_{Fv}	= 1.000
$K_{F\alpha}$	= 1.200	$K_{F\beta}$	= 1.028
Y_ϵ	= 0.622	Y_β	= 1.000
Y_{FS1}	= 3.686	Y_{FS2}	= 3.676
Y_{Fa1}	= 2.155	Y_{Fa2}	= 2.136
Y_{Sa1}	= 1.710	Y_{Sa2}	= 1.721
σ_{H1}	= 178.9	σ_{H2}	= 178.9
σ_{HP1}	= 430.0	σ_{HP2}	= 430.0
S_{H1}	= 2.403	S_{H2}	= 2.403
σ_{Hmax1}	= 253.1	σ_{Hmax2}	= 253.1
σ_{HPmax1}	= 910.0	σ_{HPmax2}	= 910.0
σ_{HO1}	= 131.6	σ_{HO2}	= 131.6
K_H	= 1.850	K_{Hv}	= 1.000
$K_{H\alpha}$	= 1.200	$K_{H\beta}$	= 1.028
K_A	= 1.500	K_{AS}	= 2.000
Z_ϵ	= 0.838	Z_H	= 2.495
Z_{R1}	= 1.000	Z_{R2}	= 1.000
Z_E	= 191.646	Z_β	= 1.000

Obr. 7.8 Výsledek zjednodušené pevnostní kontroly

7.4.6 Zjištění geometrických a záběrových parametrů

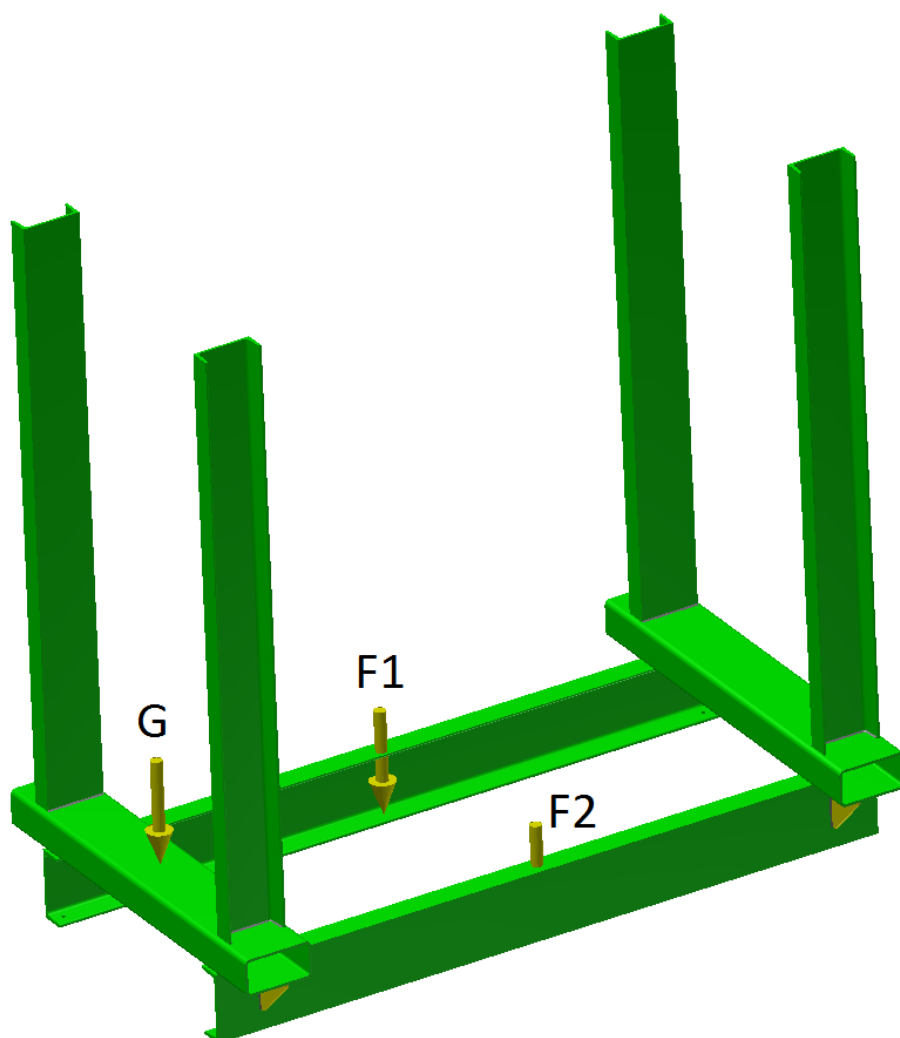
Po splnění pevnostní kontroly, jsem provedl zobrazení geometrických a záběrových parametrů obr. 7.9 tlačítkem *Tabulka rozměrů* v programu Geometrie [9].

		Rozměr	PASTOREK		KOLO
Typ ozubení			Vnější		Vnější
Normální boční vůle	j_n	[mm]		0.0000	
Počet zubů	z	[-]	135		190
Počet zubů náhradního kola	z_n	[-]	135.000		190.000
Normální modul	m_n	[mm]		4.500	
Čelní modul	m_t	[mm]		4.500	
Úhel sklonu zubu roztečný	β	[°]		0	
Úhel sklonu zubu základní	β_b	[°]		0	
Úhel profilu čelní	α_t	[°]		20.00000	
Úhel záběru čelní	α_{tw}	[°]		20.00000	
Osová vzdálenost pracovní	a_w	[mm]		731.25000	
Osová vzdálenost roztečná	a	[mm]		731.25000	
Jednotková korekce	x	[-]	0.02550	$\Sigma = 0$	-0.02550
Hodnota posunutí profilu	$x \cdot m_n$	[mm]	0.11473		-0.11473
Průměr patní kružnice	d_f	[mm]	596.47946		843.52054
základní kružnice	d_b	[mm]	570.86327		803.43719
kr.začátku evolventy	d_L	[mm]	599.21443		846.15085
kr.začátku záběru	d_{fE}	[mm]	599.49265		846.58247
valivé kružnice	d_w	[mm]	607.50000		855.00000
roztečné kružnice	d	[mm]	607.50000		855.00000
kr.srážecí hrany	d_{aE}	[mm]	---		---
hlavové kružnice	d_a	[mm]	616.72946		863.77054
Tloušťka zubu na patní kružnici	s_f	[mm]	10.67169		10.79373
základní kružnici	s_b	[mm]	15.22914		18.53855
začátku evolventy	s_L	[mm]	9.86799		9.97091
valivé kružnici	s_w	[mm]	7.15210		6.98507
roztečné kružnici	s	[mm]	7.15210		6.98507
začátku sražení	s_{aE}	[mm]	---		---
hlavové kružnici	s_a	[mm]	3.66453		3.71115
Výška paty	h_f	[mm]	5.51027		5.73973
hlavy	h_a	[mm]	4.61473		4.38527
zubu	h	[mm]	10.12500		10.12500
Společná šířka kol	b	[mm]		90.000	
Délka evolventy	ev	[mm]	9.32679		9.37481
Měrný skluz na patě		[-]	-0.23109		-0.23109
Měrný skluz na hlavě		[-]	0.18771		0.18771
Poměr b/d	Ψ_d	[-]	0.148		0.105
Poměr b/ m_n	Ψ_m	[-]		20.000	
Součinitel trvání záběru profilu	ε_α	[-]		1.89471	
Součinitel trvání záběru krokem	ε_β	[-]		0	
Součinitel trvání záběru celkový	ε_γ	[-]		1.89471	
Délka dotyku 1 páru zubů	L_{pmax}	[mm]		90.00000	
Celková délka dotyku minim.	$L_{\Sigma min}$	[mm]		90.00000	
Celková délka dotyku maxim.	$L_{\Sigma max}$	[mm]		180.00000	
Čelní rozteč	p_t	[mm]		14.13717	
Čelní rozteč základní	p_{tb}	[mm]		13.28459	
Kontrolní rozměr přes zuby	W	[mm]	214.49801		297.51497
Počet měřených zubů	z_w	[-]	16		22
Minimální šířka kola pro měření	b_{min}	[mm]	---		---
Měřená konstant. tloušťka zubu	s_c	[mm]	6.31546		6.16797
Měřeno v konst. výšce (od hlavy)	h_c	[mm]	3.46541		3.26279
Kontrolní rozměr přes kuličky	M	[mm]	617.51710		865.27570
Průměr kuličky	d_t	[mm]	7.46492		7.63453
Poměrná výška hlavy profilu	h'_a	[-]	1.00000		1.00000
Poměrná hlavová vůle profilu	c'	[-]	0.25000		0.25000
Poměrný radius paty profilu	ρ'_f	[-]	0.38000		0.38000
Úhel profilu	α_n	[°]		20.00000	

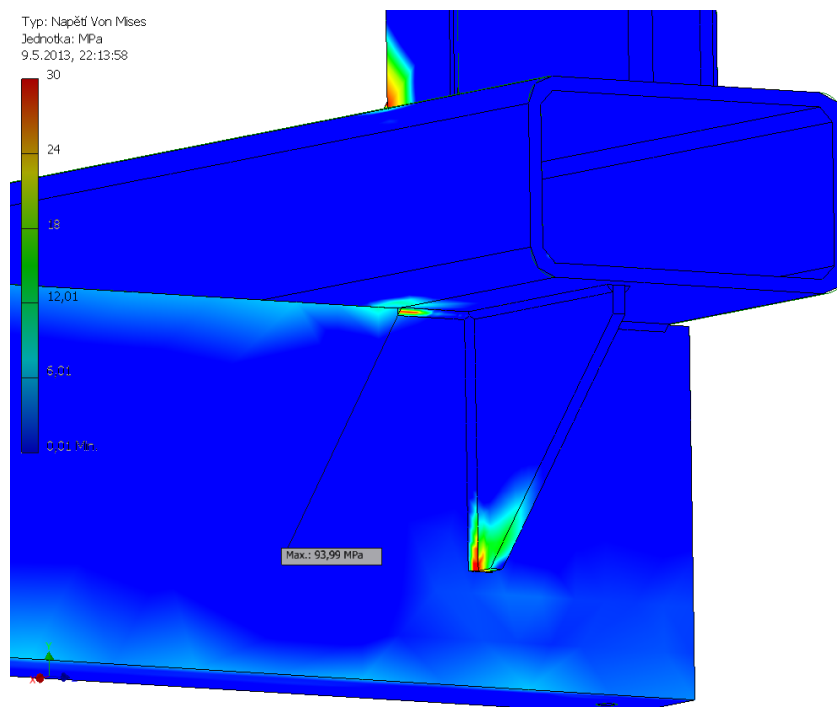
obr. 7.9 Geometrické a záběrové parametry

8. PEVNOSTNÍ ANALÝZA

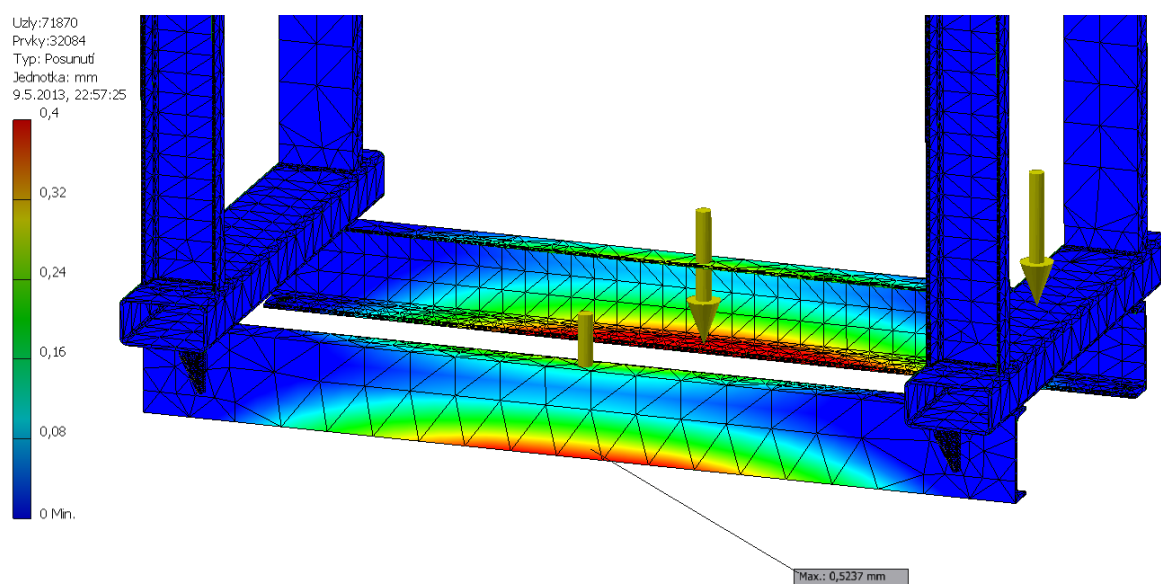
Z důvodu bezpečnosti provedu pevnostní analýzu metodou MKP pro svařovanou nosnou konstrukci, kde je možnost vzniku poškození. Kvůli dlouhé simulaci budu uvažovat zjednodušeně. Nosná konstrukce obr. 8.1 složená z nosníků, které jsou k sobě svařeny. Tuto konstrukci zatížím silou $F_1=F_2=6000$ N, která představuje tíhu pojezdu a čističe. Dále byla použita síla G , která představuje gravitační zatížení. Na konce nosníků, které simulují spojení s plnicím vozem, byla použita vazba pevná. Separované vazby jsem použil pro ostatní spojení komponentů kromě svarů, které jsou vázané. Výsledné řešení hlavního napětí je zobrazeno v detailu na obr. 8.2. Výsledné maximální napětí nijak neohrožuje konstrukci. Celkové posunutí je zobrazeno v detailu na obr. 8.3. Jedná se o nepatrné posunutí, které neomezuje funkčnost konstrukce.



Obr. 8.1 řešená konstrukce



Obr. 8.2 největší napětí



Obr. 8.3 největší posunutí

9. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnutí mechanismu, který je schopen zároveň čistit víko a rám koksárenské baterie a zajistit úklid po operaci čištění. Toto čištění jsem vložil do procesu plnění koksárenské baterie uhlím, kdy je víko odděleno od rámu snímačem vík. Konstrukce bude připevněna pod plnicím vozem. V úvodní části bakalářské práce je uvedena pro objasnění dané problematiky stručná rešerše popisující chod a historický vývoj koksoven, vlastnosti koksovatelného uhlí a základní informace o koksu.

V konstrukčním řešení jsem se přiklonil k použití ozubených soukolí, které budou pohánět ozubené kolo, na němž jsou připevněny čistící nástroje. Tyto nástroje vlivem přenášené rotace čistí přisunuté víko a rám, ke kterému se čistící mechanismus přisune. Vertikální a horizontální posuv bude uskutečněn pomocí hydraulických válců. Uchycení ozubeného kola s čistícími nástroji bude realizováno pomocí dvou typů vodících kotoučů. První typ zamezuje pohyb ve vertikálním směru od tíhy ozubeného kola s čistícím zařízením a druhý typ zamezuje vychýlení. Při návrhu dvou ozubených čelních soukolí s přímými zuby jsem využil programu Modul, CSNw a Geometrie. Program Modul byl použit ke zjištění modulu soukolí. Programem CSNw byla řešena zjednodušená pevnostní kontrola ozubení. Programem Geometrie byly zjištěny korekce na vyrovnaních měrných skluzů a ostatní rozměry ozubeného soukolí. Metodou MKP jsem zjistil, zda zvolené svary a konstrukce samotná vydrží váhové zatížení od konstrukce pojezdu a čističe.

10. LITERATURA A SOFTWARE

- [1] Chocholáč M.: *Koksovny, Díl 1*. 2. vyd. SNTL Ostrava: 1963, 146s
- [2] Chocholáč M.: *Koksovny, Díl 2*. 1. vyd. SNTL Ostrava: 1970, 108s
- [3] ČSN 02 4686 *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol*. Český normalizační institut, Praha, 1969.
- [4] Kaláb K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. Části pohonů strojů. Skripta VŠB-TU Ostrava, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2008, ISBN 978-80-2481860-8
- [5] Bolek A., Kochman J. a kol.: *Části strojů*. 2. svazek. SNTL Praha, Praha 1990, ISBN 80-03-00426-8
- [6] Němček M.: *Program Modul- Návrhový výpočet ozubení podle ČSN 01 4686 část 4*, 5/2007
- [7] Kaláb K.: *Návrh čelního soukolí se šikmými zuby*. Vysokoškolská příručka. VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2010. www.347.vsb.cz
- [8] Němček M.: *Program CSNw- ČSN 01*, verze 1.2, 10/2008
- [9] Němček M.: *Program Geometrie- Kontrola geometrie ozubených kol*, verze3, 2008
- [10] Kaláb K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. Části spojovací. Skripta VŠB-TU Ostrava, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2011, ISBN 978-80-2481290-8
- [11] Bureš M.: *Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol* [online]. Liberec, 2006. [cit. 2013-5-4]. Dostupné z: http://www.kst.tul.cz/podklady/casti_fs/podklady/Navrh_a_pevnostni_vypocet_ozubenych_kol.pdf
- [12] Kříž R., a kol.: *Stavba a provoz strojů II, převody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1978, 176s
- [13] Leinveber J., Vávra P.: *Strojnické tabulky (třetí doplněné vydání)*. Albra, Úvaly, 2006, ISBN 80 – 7361 – 033 – 7.

11. PŘÍLOHY

Název	Číslo výkresu	FORMÁT	TYP VÝKRESU
Čistící mechanismus	KAS0061-SV01	A2	sestavný
Vodící kotouč-axiální	KAS0061-SV02	A3	sestavný
Vodící kotouč-radiální	KAS0061-SV03	A3	sestavný
Výsledná sestava	KAS0061-SV04	A1	sestavný
Hřídel	KAS0061-VV05	A4	výrobní